

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH
TEHNOLOGIJA OSIJEK

Sveučilišni studij

UTJECAJ KVALITETE NAPONA NA UREĐAJE
ZAŠTITE U DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA 10 kV

Diplomski rad

Andrija Lukes

Osijek, 2019.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Osijek, 18.02.2019.

Odboru za završne i diplomske ispite

Imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Ime i prezime studenta:	Andrija Lukes
Studij, smjer:	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
Mat. br. studenta, godina upisa:	D 1010, 19.09.2018.
OIB studenta:	05783688624
Mentor:	Prof.dr.sc. Srete Nikolovski
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	Mr.Sc. Dragan Mlakić
Predsjednik Povjerenstva:	Izv. prof. dr. sc. Predrag Marić
Član Povjerenstva:	Doc.dr.sc. Krešimir Fekete
Naslov diplomskog rada:	Utjecaj kvalitete napona na uređaje zaštite u distributivnim mrežama 10 kV
Znanstvena grana rada:	Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak diplomskog rada:	Kvaliteta napona je jedan od značajki koje se ODS mora pridržavati pri isporuci el. en. svojim potrošačima. Regulacija kvalitete napona jedan je od uvjeta priključka izvora na distribucijsku mrežu. S obzirom da kvaliteta napona pada pod standard EN 50160, te da utječe na tokove snaga u mreži, koliko parametri kvalitete napona utječe na ispravan rad zaštitne tehnike na 10 kV. Istražiti utjecu parametri kvalitete napona i koji na ispravan rad zaštitne tehnike? Sumentor Mr. sc. Dragan Mlakić Elektrodistribucija Novi Travnik
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	18.02.2019.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 11.03.2019.

Ime i prezime studenta:

Andrija Lukes

Studij:

Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

Mat. br. studenta, godina upisa:

D 1010, 19.09.2018.

Ephorus podudaranje [%]:

13%

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Utjecaj kvalitete napona na uređaje zaštite u distributivnim mrežama 10 kV**

izrađen pod vodstvom mentora Prof.dr.sc. Srete Nikolovski

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. OPĆENITO O KVALITETI ELEKTRIČNE ENRGIJE I NORMI EN 50160	2
2.1 Temeljni parametri norme EN 50160	4
2.2 Temeljni parametri napona norme EN 50160	4
2.2.1 Kolebanje napona.....	5
2.2.2 Treperenje (Flicker)	6
2.2.3 Naponi viših harmonika i međuharmonika.....	6
2.2.4 Signalni naponi	7
2.2.5 Frekvencija opskrbnog napona	7
2.2.6 Nesimetričnost opskrbnog napona	8
2.2.7 Naponski propadi	8
2.2.8 Prekid opskrbe	8
3. RELEJNA ZAŠTITA	9
3.1.Zadaća relejne zaštite.....	9
3.2 Zaštitni relejni uređaji.....	10
3.3 Osnovni zahtjevi zaštite.....	12
4. UTJECAJ KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE NA ZAŠTITNE RELEJE	15
4.1. Poremećaji u stacionarnom stanju	16
4.1.1. Utjecaj harmonika na zaštitne releje	17
4.1.2. Utjecaj odstupanja frekvencije na zaštitne releje.....	18
4.2 Prijelazni poremećaji	19
4.3 Utjecaj smetnji na rad releja	22
5. KVANTIFIKACIJA POREMEĆAJA U ENERGETKOM SUSTAVU.....	24
5.1 Kvantifikacija poremećaja na temelju postavki.....	25
5.1.1 Faktor utjecaja poremećaja	25
5.1.2 Utjecaj poremećaja na razne vrste zona postavljanja releja.....	28
5.2 Kvantifikacija poremećaja temeljena na dizajnu.....	30
5.2.1 Faktor utjecaja poremećaja	30
5.2.2 Utjecaj poremećaja na različite vrste relejnih filtera	32
6. ISTRAŽIVANJE UTJECAJA POJEDINIH SMETNJI I REZULTATI ANALIZE.....	34
6.1. Procjena utjecaja poremećaja na temelju postavki	34
6.1.1. Prijelazna struja.....	34

6.1.2. Prijelazni napon (udarna prijelazna stanja)	36
6.1.3. Uklopna prijelazna struja	37
6.1.4. Propad napona.....	38
6.1.5. Kolebanje napona.....	40
6.2 Evaluacija utjecaja poremećaja na temelju dizajna	41
6.2.1. Prijelazna struja 1.....	42
6.2.2. Prijelazna struja 2.....	43
6.2.3. Prijelazna struja 3.....	44
6.2.4. Porast struje.....	45
6.2.5. Propad sa velikim zasćenjem transformatora	46
6.2.6. Neparni harmonici	47
6.2.7 Međuharmonici	48
6.2.8. Struja isprekidanog opterećenja.....	49
6.3. Usporedba među slučajevima	50
6.4. Utjecaj efekata ne-sinusoidalnih struja na GEC CDG 11 IDMT nadstrujni relej	51
6.5. Utjecaj efekata ne-sinusoidalnih struja na GE Multilin 369 Plus upravljački relej motora.....	56
7. ZAKLJUČAK	59
LITERATURA.....	60
SAŽETAK.....	61
ABSTRACT	61
ŽIVOTOPIS	62

1. UVOD

Kvaliteta napona je jedan od značajki koje se ODS mora pridržavati pri isporuci električne energije svojim potrošačima. Kvaliteta energije odnosi se na širok raspon elektromagnetskih pojava koje karakteriziraju napon i struju u danom trenutku i na određenom mjestu u elektroenergetskom sustavu. Zaštita je u većoj mjeri povezana s kvalitetom električne energije nego što bi se to na prvu pomislilo. Zaštita se prvenstveno odnosi na otklanjanje kvarova, dok se kvaliteta električne energije odnosi na isporuku pouzdane energije unutar određenih parametara. S obzirom da kvaliteta napona pada pod standard EN 50160, te da utječe na tokove snaga u mreži, neki parametri kvalitete napona utjecati će na ispravan rad zaštita na 10 kV. Zaštitni releji otkrivaju greške pod pretpostavkom da su uvjeti na elektroenergetskom sustavu unutar zahtjeva koji definiraju dobru kvalitetu električne energije. Kada su stacionarni uvjeti na elektroenergetskom sustavu takvi da se parametri kvalitete energije mogu definirati kao loša kvaliteta električne energije, zaštitni releji mogu imati problema pri donošenju ispravnih odluka. Parametri kvalitete napona kao što su harmonici i međuharmonici koji mijenjaju sinusoidalni oblik napona te naponski propadi i drugi parametri kvalitete mogu imati značajan utjecaj na uređaje zaštite u distribucijskim mrežama. U ovom radu će se raspravljati o odnosima između kvalitete električne energije i zaštite u distribucijskim mrežama. Rad će ukazati na pitanja kojih inženjeri moraju biti svjesni pri suočavanju s učincima loše kvalitete električne energije.

2. OPĆENITO O KVALITETI ELEKTRIČNE ENERGIJE I NORMI EN 50160

Kvaliteta električne energije svojstvo je električne energije u nekoj točki elektroenergetskog sustava promatrano u usporedbi s referentnim tehničkim parametrima koji se određuju na temelju višegodišnjih iskustava stečenih analizama stanja u elektroenergetskim mrežama. Pod kvalitetom električne energije obično se misli na neprekinutost napajanja i kvalitetu napona. Idealni sinusni valni oblik napona u cijeloj mreži nije ekonomski opravdano, a vrlo često ni tehnički moguće postići.[1]

Kvaliteta električne energije može se promatrati kao:

- a) potreba da se definiraju parametri isporuke električne energije kao robe između distribucije i kupca.
- b) potreba da se uoče, lokaliziraju i otklone problemi koji ometaju rad opreme distribucije i kupca.

Razlog za stalan nadzor najčešće je ekonomski. To se posebno odnosi na procesna postrojenja na koja nekvalitetna isporučena energija može štetno utjecati. Kako iza svakog prekida proizvodnje stoje veliki gubici, nadzor znači kontrolu parametra isporučene energije, ali i sredstvo za uočavanje i lokaliziranje problema. Problemi mogu biti na strani potrošača kao i na strani mreže. Specifičan razlog za nadzor je i odabir opreme koja će koristiti na lokaciji u danim uvjetima kvalitete energije. Ako je mjerenjem utvrđena loša kvaliteta električne energije na nekoj lokaciji treba voditi računa o izboru opreme za rad u takvim uvjetima. Ona mora biti otporna i sposobna raditi u takvim uvjetima. A to je zapravo zadovoljavanje kriterija elektromagnetske kompatibilnosti [2].

Kvaliteta napona u određenoj točki distribucijske mreže iskazuje zbirno međudjelovanje proizvodnih jedinica, prijenosnih i distribucijskih linija i transformacija te trošila spojenih na elektroenergetski sustav, izraženim kroz nekoliko parametara:

- frekvencija napona,
- iznos napona u stacionarnom stanju,
- harmoničko izobličenje valnog oblika napona,
- međuharmonici napona,
- brze dinamičke promjene napona (flikeri),
- nesimetričnost napona,
- propadi napona,

- prenaponi mrežne frekvencije,
- prijelazni prenaponi,

Norma EN 50160 sadrži opis bitnih karakteristika opskrbnog napona na mjestu predaje potrošaču u niskonaponskim i srednjenaponskim električnim mrežama u normalnim pogonskim uvjetima. Zbog toga što te karakteristike nisu predviđene za korištenje kao vrijednosti elektromagnetske kompatibilnosti niti kao granične vrijednosti koje se iz postrojenja po vodovima prenose u razdjelne mreže, ova norma neće predstavljati odredbe o elektrotehničkoj sigurnosti. Međutim, temeljni parametri ove norme mogu biti korišteni kao odredbe elektroenergetske suglasnosti ili ugovora o isporuci električne energije između isporučitelja i potrošača električne energije. Norma EN 50160 ima za cilj dati karakter značajkama napona napajanja u odnosu na valni oblik, visinu, frekvenciju i simetriju na mjestu predaje potrošaču.

Cilj je postavljanje graničnih vrijednosti kod normalnih radnih uvjeta. U električnim niskonaponskim mrežama kvarovi postrojenja mogu dovoditi do velikih smetnji. No kompletni ispad mreže ne može se smisleno opisati preko graničnih vrijednosti. Zbog toga nema smisla zadavati stvarne granične vrijednosti. Norma postavlja fiksno one vrijednosti kao granične, koje ne smiju biti premašene 95% vremena promatranja.

Mjeri se, zavisno od mjerne veličine, 10 sekundna ili 10 minutna srednja vrijednost mjerene veličine. Duljina mjerenja je jedan tjedan. Iz dobivenih podataka se određuje vjerojatnost pojavljivanja, i podaci se prikazuju na odgovarajući način.

Međutim, norma ne vrijedi u izvanrednim situacijama kao što su nesvakidašnje vremenske prilike ili prirodne katastrofe, koje onemogućavaju utjecaj isporučitelju energije. Također, norma ne vrijedi u slučajevima, gdje postrojenje potrošača ne odgovara zadanim normama. [2]

2.1. Temeljni parametri norme EN 50160

Norma mora definirati i opisati značajke napona u odnosu na:

- a) frekvenciju
- b) amplitudu
- c) valni oblik
- d) simetriju u trofaznim mrežama

Ovi parametri su podložni promjenama tijekom normalnog rada. To su promjene opterećenja, ili smetnje koje se generiraju u opremi i pojavljivanju kvarova uslijed vanjskih čimbenika. Navedene značajke podložne su stohastičkim promjenama u vremenu. Stoga norma u nekim slučajevima dozvoljava premašivanje zadanih granica parametara.[2]

2.2. Temeljni parametri napona norme EN 50160

Temeljni parametri napona norme EN 50160 su:

- Kolebanje napona
- Treperenje (Flicker): kratkoročno (Pst) i dugoročno (Plt)
- Napon viših harmonika i međuharmonika
- Signalni napon
- Frekvencija opskrbnog napona
- Nesimetričnost (asimetričnost) napona
- Naponski propadi i/ili udarna prijelazna stanja, prenaponi
- Prekidi opskrbe

Tablica 2.1. Granične vrijednosti parametara napona po preporuci EN 50160 [2]

EN 50160			
POKAZATELJ	MJERNA JEDINICA	Obilježja niskog napona	Obilježja srednjeg napona
Promjene napona	V	±10 % U _n za 95 % tjedna	± 10 % U _c za 95 % tjedna
		+10/-15 % U _n za 5 % tjedna	
Kratki prekidi	Broj	< 3 min. – nekoliko desetaka do stotina godišnje	
Dugi prekidi	Broj	≥ 3 min. – < 10 – 50 godišnje	
Propadi	Broj	nekoliko desetaka do tisuću godišnje	
THD napona	% U _n	< 8 % U _n	
Treperenje	P _{lt}	P _{lt} ≤ 1, za 95 % tjedna	
Nesimetrija	% U _n	< 2 % U _n	
Frekvencija	Hz	± 1 % U _n za 99,5 % godine	
		+ 4/-6 % U _n za 100 % vremena	

2.2.1. Kolebanje napona

Iako možemo razlikovati tzv. polagane i brze promjene napona, generalno se može reći da je kolebanje napona prihvatljivo ako se, pri normalnim pogonskim uvjetima, 95% svih 10-minutnih srednjih vrijednosti efektivne vrijednosti opskrbnog napona svakog tjednog intervala nalazi unutar $\pm 10 \%$ vrijednosti normiranog nazivnog napona (U_n). To znači da od ukupno 1008, 10-minutnih srednjih vrijednosti efektivnih vrijednosti napona izmjerenih tijekom jednog tjedna, njih 958 mora imati vrijednost unutar područja 207 – 253 V, za npr. nazivni napon od 230 V AC.[2]

2.2.2. Treperenje (Flicker)

Potreba za definiranjem i mjerenjem ovog parametra proistekla je iz činjenice da promjena intenziteta svjetla u radnoj ili životnoj sredini negativno utječe na zdravlje ljudi, tj. na njihovu radnu i svaku drugu efikasnost. Javljaju se glavobolje, nervoze, depresije, oštećuje se vid itd. Flicker se definira na sljedeći način: Ako u nekoj prostoriji prebiva 100 ljudi pod jednakim uvjetima i ako se intenzitet svjetla promjeni toliko da to zapazi 50 od ukupno nazočnih ljudi, kaže se da flicker (treperenje) ima intenzitet 1. Ovo ometajuće djelovanje raste sa amplitudom promjene napona. Jakost flickera izračunava se prema zadanoj formuli. Ona ne smije prijeći vrijednost jedan unutar 95% vremena jednog tjedna. [2]

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}} \quad (2-1)$$

2.2.3. Naponi viših harmonika i međuharmonika

Naponom višeg harmonika označava se sinusni napon sa frekvencijom koja je višekratnik osnovne frekvencije. Srednja vrijednost u periodu 10 minutne efektivne vrijednosti napona jednog jedinog harmonika ne smije prijeći graničnu vrijednost u postocima koja je definirana u tablici 2.2, i to 95% vremena jednog tjedna. Dozvoljene vrijednost viših harmonika (harmonici od 2. do 40.) mogu se tabelarno prikazati, i to:

- a) Pojedinačno, njihove amplitude svedene na amplitudu temeljnog harmonika (Tablica 2.2.)
- b) Zajednički, pomoću ukupnog sadržaja viših harmonika: THD (Total Harmonic Distortion), koji računamo prema (2-2).

Maksimalna visina petog harmonika iznosi na primjer 6%. Ukupni iznos viših harmonika, koji se sastoji od svih harmonika do 40-og, ne smije prijeći vrijednost 8%. [2]

Tablica 2.2. Prikaz pojedinačnih graničnih vrijednosti viših harmonika:

Neparni harmonici				Parni harmonici	
Nisu množivi sa 3		Množivi sa 3			
Broj harmonika	Limit(%)	Broj harmonika	Limit (%)	Broj harmonika	Limit (%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6*24	0,5
13	3	21	0,5		
17	2				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

$$THDU = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (U_h)^2} \frac{100\%}{U_1} \quad (2-2)$$

2.2.4. Signalni naponi

Budući da isporučitelji električne energije koriste javne distributivne mreže za prijenos upravljačkih signala, pa se isti moraju pridržavati sljedeće norme: Unutar frekventijskog pojasa od 1 – 10 kHz, 99 % svih 3- sekundarnih srednjih vrijednosti signalnog napona tijekom jednog dana ne smiju prelaziti vrijednost od 5 % nazivnog napona.[2]

2.2.5. Frekvencija opskrbnog napona

Nazivna frekvencija opskrbnog napona u razdjelnoj mreži je 50 Hz. U normalnim pogonskim uvjetima u niskonaponskim i sredjenaponskim distributivnim mrežama vrijedi da pri normalnim pogonskim uvjetima 98% svih 10-sekundnih srednjih vrijednosti temeljne frekvencije mora biti unutar pojasa : 50 Hz +/- 1 %, a u preostalih 5 % vremena ne smije izlaziti izvan područja +4 %/ -6 % vrijednosti 50 Hz. Za otočne razdjelne mreže ovi uvjeti su nešto blaži: +/- 2 % tijekom 95 % tjedna, te +/- 15 % tijekom preostalih 5 % tjedna.[2]

2.2.6. Nesimetričnost opskrbnog napona

Ovaj parametar, definira se na sljedeći način: Pri normalnim pogonskim uvjetima rada sve 10-minutne srednje vrijednosti efektivne vrijednosti inverzne komponente (negativne) napona ne smije kod 95 % srednjih vrijednosti svakog tjednog intervala prelaziti 2 % odgovarajuće direktne (pozitivne) komponente.[2]

2.2.7. Naponski propadi

Naponski propadi nastaju najčešće zbog kvarova u postrojenjima potrošača ili u javnoj distributivnoj mreži. Definiraju se na sljedeći način: propad napona jest naglo, kratkotrajno (od 10 ms, pa do 1 minute) smanjenje opskrbnog napona na neku od vrijednosti u pojasu od 90 %, pa do 1% nazivnog napona, nakon čega se ponovno uspostavlja prvobitna vrijednost napona (nazivni napon). Vrijedi sljedeće: dozvoljeni orijentacijski broj propada napona tijekom jedne godine smije se kretati u opsegu od 10, pa do 1000, te da ih je većina trajanja kraćeg od 1 s i amplitude manje od 60 % nazivnog napona.[2]

2.2.8. Prekid opskrbe

Pod prekidom opskrbe (napona) podrazumijeva se stanje pri kojemu je opskrbeni napon na mjestu predaje manji od 1 % nazivnog napona. Razlikujemo planirane i neplanirane prekide opskrbe, te kratkotrajne i dugotrajne prekide opskrbe. Trajanje oko 70 % kratkih prekida, do 3 minute, opskrbe godišnje mora biti kraće od 1 sekunde. Za duge prekide opskrbnog napona tolerira se : 10-50 prekida opskrbnog napona godišnje, duljih od 3 minute.[2]

3. RELEJNA ZAŠTITA

3.1. Zadaća relejne zaštite

U elektroenergetskom sustavu stalno postoji opasnost od pojave kvarova i opasnih pogonskih stanja zbog stohastičke prirode rada elektroenergetskog sustava i narušavanja izolacije elemenata sustava tijekom vremena. Zadaća relejne zaštite je maksimalno umanjiti posljedice neželjenih pojava u elementima elektroenergetskog sustava, odnosno trajno nadzirati karakteristične veličine (električne ili druge) štićenog objekta i u slučaju kvara ili opasnog pogonskog stanja automatski poduzeti sve potrebne mjere kako bi se kvar izbjegao, a posljedice neželjenog stanja svele na minimum. Kako bi se omogućio pouzdan i siguran rad elektroenergetskog sustava, potrebno je, u što kraćem vremenu, otkriti i izolirati element sustava koji je u kvaru ili opasnom pogonskom stanju od ostalog dijela EES-a. Ako se već kvar u sustavu pojavi, treba ga eliminirati i obavijestiti o tome pogonsko osoblje. U elektroenergetskom sustavu se mogu pojaviti sljedeći kvarovi i opasna pogonska stanja: [3]

- Kvarovi (kratki spojevi) kao posljedica kvara i oštećenja izolacije
- Nenormalno visoki naponi – prenaponi
- Nenormalno visoke struje – preopterećenja
- Nesimetrična opterećenja, prekidi u EES-u, izraziti padovi napona, preveliki broj okretaja sinkronih strojeva, itd.

Relejna zaštita predstavlja skup automatiziranih uređaja koji služe za nadzor i zaštitu elemenata EES-a te predstavlja poseban podsustav EES-a, koji je veoma značajan za siguran i pouzdan rad EES-a. Uređaji zaštite i nadzora posebno su međusobno povezani u svojoj strukturi rada i u slučaju kada nisu sami međusobno izravno spojeni.

Relejna zaštita u većini slučajeva djeluje na isklon prekidača i drugih rastavnih uređaja te je manje vrijeme prorade zaštite i kod najbržih releja (mikroprocesorska zaštita) nešto iznad vremena isklona kvara kod najbržih prekidača koje je reda 2-3 periode, tj. oko 40-60 ms. Zbog toga niti jedna relejna zaštita ne može zaštititi elemente sustava ako je brzina tih pojava reda mikro sekunde. U ovu grupu pojava spadaju atmosferski i sklopni prenaponi te velika dinamička naprezanja zbog sila koje nastaju u prvoj poluperiodi, kod struja kratkih spojeva. Stoga sva oprema mora biti dimenzionirana za takva naprezanja.[3]

3.2. Zaštitni relejni uređaji

Osnovni uređaj sustava relejne zaštite je sam relej. Relej je uređaj koji trajno kontrolira električnu i mehaničku veličinu i kod unaprijed podešene vrijednosti izaziva naglu promjenu u jednom ili više komandnih ili signalnih krugova. Kontrolirana veličina npr. može biti električna veličina: struja, napon, frekvencija, otpor, snaga, ili neelektrična veličina: brzina, tlak, broj okretaja. Promjena kontrolirane veličine može biti na veću (oznaka >), ili manju (oznaka <) vrijednost od podešene. [3]

Postoje dvije osnovne grupe releja:

- Releji temeljeni na elektromehaničkim principima rada,
- Releji temeljeni na analognim i digitalnim elektroničkim komponentama

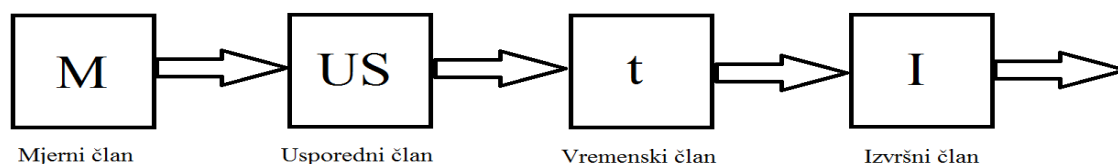
Prema svom sustavu releji mogu imati sljedeće dijelove:

M – mjerni član, koji je priključen na kontroliranu veličinu

US – član, koji vrši usporedbu kontrolirane i podešene veličine

t – vremenski član, koji vrši zatezanje, tj. kašnjenje djelovanja

I – izvršni član, koji aktiviranjem djeluje na isklon prekidača



Slika 3.1. Blok shema statičkog releja [3]

Prema broju ulaznih veličina releje dijelimo na:

- Releje s jednom ulaznom veličinom,
- Releje s dvije ulazne veličine,
- Releje s tri ili više ulaznih veličina

U prvu grupu spadaju strujni, naponski i frekvencijski releji, u drugu usmjereni i distantni, a u treću distantni releji.

Prema principima djelovanja mjernog člana releje dijelimo na:

- Elektromagnetske
- Indukcijske
- Elektrodinamičke
- Magnetoelektrične (galvanometarske)
- Termičke

Prema vrsti kontrolirane veličine releje dijelimo na:

- Strujne releje – djeluju kad struja premaši ili padne ispod određene vrijednosti (nadstrujni, podstrujni)
- Naponske releje – djeluju kad napon premaši ili padne ispod podešene vrijednosti (nadnaponski, podnaponski)
- Učinske releje – djeluju na smjer snage (usmjereni releji) ili iznos snage (releji snage)
- Otporne releje – djeluju na vrijednost otpora PTC,NTC
- Frekvencijske releje – djeluju na porast frekvencije (nadfrekvencijski releji) ili pad frekvencije (podfrekvencijski releji)
- Termičke releje – djeluju kad temperatura premaši podešenu vrijednost
- Mehaničke releje – djeluju kada mehanička veličina (broj okretaja, pomjeraj brzina strujanja) padne ili premaši podešenu vrijednost.

Prema veličini priključka releji se dijele na:

- Primarne releje – koji su direktno priključeni na puni iznos kontrolirane veličine
- Sekundarne releje – koji su priključeni na reducirane vrijednosti kontroliranih veličina preko mjernih transformatora ili pretvarača

Posebne vrste releja predstavljaju:

- Vremenski releji – imaju zadatak da uspore djelovanje trenutnog izvršnog člana
- Pomoćni releji – koriste se za pojačanje slabih impulsa koje daju zaštitni releji

Podsustavom zaštite podrazumijeva se skup svih uređaja o kojima ovisi rad i djelovanje zaštitnog releja, a to su:

- Mjerni transformatori ili pretvornici
- Uređaji i pomoćni strujni krugovi istosmjernog ili izmjeničnog napona
- Uređaji za isključenje
- Ostali pomoćni uređaji za VHF i UHF povezivanje između udaljenih relejnih uređaja [3]

3.3. Osnovni zahtjevi zaštite

Osnovni zahtjevi koji se predstavljaju pred zaštitu su:

- Brzina djelovanja
- Selektivnost
- Osjetljivost
- Pouzdanost

Brzina djelovanja zaštite je osobito značajna i mora biti što veća. Kvarovi se vrlo brzim djelovanjem trebaju eliminirati tako da se smanji ili potpuno izbjegne razarajuće mehaničko i termičko djelovanje struje kvara. Zahtjev za brzinom rada zaštite često je vezan za uvjete očuvanja stabilnosti kod kvarova u visokonaponskoj mreži ili sprečavanje težih posljedica havarija na skupoj opremi kao što su veliki generatori i transformatori. Vrijeme djelovanja sastoji se od vremena djelovanja zaštite i vremena djelovanja prekidača. U suvremenim elektroenergetskim mrežama, preporučuju se slijedeće vrijednosti isključenja kvarova.

- U mrežama napona 400 kV vrijeme isklopa je reda $t_k=0,1-0,12$ s
- U mrežama napona 110 i 200 kV vrijeme isklopa je reda $t_k=0,15-0,3$ s
- U mrežama napona 10, 20 i 35 kV vrijeme isklopa je reda $t_k=1-3$ s

Selektivnost je svojstvo zaštite da kod kvara automatski izolira samo element pogođen kvarom. Iz pogona se isključuje samo onaj element koji je u kvaru, dok preostali dio sustava radi normalno. Selektivnost se može postići na nekoliko načina;

- Vremenskim stupnjevanjem dijela zaštite od kraja prema izvoru napajanja
- Dodatnim kriterijem (smjer snage, fazni kut)

- Primjenom specijalnih releja s ograničenjem zone djelovanja (buholtz i dr.)

Osjetljivost je karakteristika da releji moraju sa sigurnošću djelovati na podešenu veličinu, u osnovnoj i rezervnoj zoni štice. To znači da relej mora biti osjetljiv na sve kvarove unutar njegove podešene zone djelovanja. Kod nadstrujnih releja osjetljivost mora biti takva da relej pouzdano reagira na kvarove s minimalnim strujama kvara, ali ne i na maksimalne pogonske struje. Kod nadstrujnih releja, koji reagiraju kad vrijednost struje premaši podešenu vrijednost, koeficijent osjetljivosti se definira kao: [3]

$$k_{os} = \frac{I_{k \min}}{I_{pr}} \quad (3-1)$$

Gdje je:

$I_{k \min}$ - minimalna struja kvara

I_{pr} - prirada vrijednosti podešena na releju

$k_{os}=1,4-1,8$ - koeficijent osjetljivosti

Kada se govori o osjetljivosti treba spomenuti i povratni faktor ili omjer otpuštanja α , koji se definira kod nadstrujnog releja izrazom:

$$\alpha = \frac{I_{pov}}{I_{pr}} \quad (3-2)$$

gdje je:

I_{pr} - minimalna vrijednost struje kada relej proradi pri povećanju struje

I_{pov} - najveća vrijednost struje kad relej otpusti kontakte pri smanjenju struje

Omjer otpuštanja govori nam kolika je histereza releja. Obični je $\alpha=0,8-0,9$.

Pouzdanost u radu relejne zaštite je značajan kriterij jer govori o kvaliteti djelovanja zaštite. Kako releji mogu dugo biti u stanju mirovanja, a na zahtjev pri pojavi kvara moraju pouzdano odraditi, to je veoma važan kriterij koji se treba ispuniti. U slučaju zatajenja zaštite ili nepotrebnog djelovanja zaštite, posljedice mogu biti katastrofalne. Pouzdanost se definira kao matematička vjerojatnost da će sustav zaštite biti u ispravnom stanju tijekom promatranog vremenskog perioda, uz definirane radne uvjete releja. Jedna od karakteristika je intenzitet otkaza zaštite (λ). Pouzdanost zaštite ovisi i o nizu vanjskih činitelja kao što su pouzdanost mjernih transformatora, pouzdanost sekundarnih strujnih krugova, pouzdanost napajanja pomoćnim naponima i pouzdanost samog prekidača. Osim toga što relejni uređaji mogu imati visoku pouzdanost, u praksi se mora zadovoljiti i kriterije zalihosti odnosno rezervnog djelovanja

zaštite. Rezervna zaštita treba biti locirana na drugom mjestu u odnosu na glavnu i taj se princip naziva <<back up protection>>.

Najjednostavniji zaštitni uređaj je rastalni osigurač koji sam po sebi nije relej. Rastalni osigurač se smješta u primarni strujni krug i prekida struju kada ona prekorači nazivnu vrijednost. Primjena je ograničena na niske i srednje napone i razmjerno male snage kratkog spoja.

Prema vrsti štićenog elementa elektroenergetskog sustava razlikujemo zaštitu:

- Generatorska
- Transformatorska
- Motorska
- Sabirnička
- Vodova niskog napona (NN), srednjeg napona (SN), visokog napona (VN) i vrlo visokog napona (VVN)
- Cjelokupnog sustava

Prema načinu zaštite visokonaponske mreže razlikujemo:

- Nadstrujnu zaštitu
- Distantnu zaštitu
- Usporednu (diferencijalnu) zaštitu
- Ostale zaštite

Vodeći proizvođači relejnih uređaja su Končar, Iskra, Siemens, ABB i drugi.

4. UTJECAJ KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE NA ZAŠTITNE RELEJE

Ovo poglavlje daje pregled utjecaja kvalitete energije na zaštitne releje. Da bi se utvrdio utjecaj kvalitete električne energije na zaštitne releje, potrebno je odrediti neke komponente kvalitete energije. Postoje tri osnovna svojstva koja se koriste za razlikovanje različitih kategorija i potkategorija kvalitete električne energije, a to su: komponente frekvencije, veličina i trajanje. Ti atributi nisu jednako primjenjivi na sve kategorije varijacija kvalitete električne energije. Na primjer, teško je dodijeliti trajanje kolebanju napona i nije korisno dodijeliti spektralni sadržaj varijacijama u temeljnoj frekvencijskoj veličini (prenaponi, propadi, prekidi). Ove karakteristike i atributi korisni su za procjenu zahtjeva mjerne opreme, karakteristika sustava koji utječu na varijacije kvalitete električne energije i moguće mjere za ispravljanje problema s kvalitetom napajanja. Utjecaj iskrivljenih valnih oblika na zaštitne releje nije dobro dokumentiran zbog brojnih principa mjerenja primijenjenih u svakom dizajnu releja. Na primjer: elektromehanički releji obično reagiraju na osnovnu komponentu frekvencije iskrivljenog vala. Međutim, to se može znatno razlikovati kod različitih proizvođača elektromehaničkih releja. U početku statički releji bili su previše osjetljivi na komponente visoke frekvencije, ali revizija dizajna ispravila je ove nedostatke. S pojavom mikroprocesorskih releja razvijene su tehnike filtriranja kako bi se prilagodile širokom spektru harmonijskih utjecaja. Posljedično tome, mikroprocesorski relej koji koristi digitalni filter je imun na učinak harmonika u smislu da ekstrahira temeljni oblik valnog oblika. Glavne prednosti digitalnih releja u odnosu na konvencionalne releje su njihovi pouzdanost, funkcionalna fleksibilnost, samokontrola i prilagodljivost. Digitalni releji mogu implementirati složenije funkcije biti precizniji i imuni od efekata fizičkog okruženja. Iako su relativno skuplji, prednosti u povećanju sigurnosti sustava i pouzdanosti usvajanjem tih releja može učiniti njihovu primjenu isplatom. U ovoj radu, digitalni releji su prihvaćeni za analizu utjecaja smetnji na zaštitne uređaje.[4]

U smislu štetnog utjecaja na zaštitne releje, poremećaji elektroenergetskog sustava se mogu svrstati u dvije glavne kategorije: poremećaji stacionarnog stanja i prijelazni poremećaji. Utjecaj na zaštitne releje može biti opisan kao dvije vrste neispravne funkcije: nedjelovanje i pogrešno djelovanje, koji odgovaraju faktorima pouzdanosti releja: pouzdanost i sigurnost.[5] Prema definiciji poremećaja, kvar releja koji bi moglo biti obuhvaćen takvim fenomenima, je pogrešno djelovanje. Glavni naglasak ovog rada je utjecaj na nepravilno djelovanje releja.

Djelovanje parametara kvalitete električne energije na relej možemo grupirati u dvije vrste operacija:

1. Ispravne operacije

Važno je imati na umu da svi događaji povezani sa kvalitetom energije ne dovode do prorade zaštite sustava. Neki releji za zaštitu su namijenjeni za rad pod određenim nepravilnim uvjetima uključujući slabu kvalitetu energije. Primjer toga je podnaponski relej koji može pokrenuti prekid kruga tijekom naponskih propada i kratkotrajnih prekida. I dugotrajna neravnoteža napona može dovesti do prorade zaštite. U takvim slučajevima, iako je prekid uzrokovan ili utjecajan kvalitetom energije, to je još uvijek legitiman sustav zaštite. Ukratko, može se reći da je ova vrsta izobličenja utječe na performanse releja, ali ne uzrokuje pogrešan rad.

2. Pogrešne operacije

S druge strane, neki parametri kvalitete energije uzrokuju pogrešne operacije sustava zaštite. To je zbog toga što loši uvjeti kvalitete uzrokuju da relej registrira pogrešne ulazne vrijednosti i zbog toga, pogrešno djeluje. Suprotna situacija je također moguća, kada relej ne proradi kad treba, zbog slabe kvalitete energije. Postoje dva fenomena koja mogu utjecati na nepravilan rad releja. To su varijacije u frekvenciji snage i harmonijskog izobličenja.[6]

Standard EN 50160 definira značajke koje treba imati naponski val, određujući neke prihvatljive rasponne za različite distorzije koje se mogu pojaviti u signalu.

4.1. Poremećaji u stacionarnom stanju

Glavne smetnje stacionarnog stanja koje mogu utjecati na rad zaštitnih releja su harmonici i odstupanje frekvencije. Praktično, harmonici i odstupanje frekvencije uvijek postoji u bilo kojem elektroenergetskom sustavu. Glavno pitanje je koliko su značajna harmonijska i frekvencijska odstupanja i u kojoj mjeri mogu utjecati na rad zaštitnih releja. Razlog zašto su harmonici i frekvencijsko odstupanje od interesa je to što gotovo svi zaštitni releji su dizajnirani za rad pod idealnim uvjetima, tj. mjereni signal sadrži čistu osnovnu komponentu pri nominalnoj frekvenciji. U slučaju nestandardne situacije (tj. izobličenja i/ili odstupanje frekvencije), reakcija na kvar može postati sporija i može se smanjiti imunitet od poremećaja.[7]

4.1.1. Utjecaj harmonika na zaštitne releje

Harmonici su posljedica prisutnosti nelinearnih opterećenja u sustavu. Nelinearnost takvih opterećenja dovodi do izobličenja valnih oblika napona i struja, stvarajući tako različite harmonike. Harmonici također mogu biti interpretirani kao način opisivanja neželjenih promjena u valnom odnosu stvarnog signala na osnovnu komponentu signala. Većina postojećih releji koriste osnovnu komponentu za zaštitu. Harmonijsko izobličenje može pogoršati rad takvog releja. Glavni rezultati istraživanja objavljeni u literaturi mogu se sažeti na sljedeći način:

- Postoji očigledan štetan utjecaj harmonika na elektromehanički i statički releji, ali malo utječu na digitalni releji tipa ako je odabran odgovarajući algoritam. Utjecaj je uglavnom na pouzdanosti releja u slučaju grešaka.
- Iako digitalni releji imaju puno bolji imunitet na harmonike, elektromehanički i statički releji ne mogu biti potpuno zamijenjeni u predviđenoj budućnosti, zbog ekonomskih čimbenika kao i različitih zahtjeva izvedbe releja na različitim lokacija.
- Čak i za digitalne vrste releja, neki algoritmi ne uklanjaju u potpunosti sve harmonike.
- Harmonici u strujama imaju veći utjecaj na zaštitne releje od harmonika u naponima. U većini slučajeva harmonici u strujama uglavnom se određuju karakteristikama pripadajućeg opterećenja, što je više ovisno o slučaju.

Općenito, harmonici će uzrokovati odstupanje u vrijednosti parametra releja (tj. vrijednost koja se uspoređuje s pragom). Harmonici će utjecati na performanse releja tijekom kvara kod nekih vrsta releja posebno elektromehaničkih i statičkih releja. Međutim, zbog margine između normalnih radnih vrijednosti i pragova prekida releja, prisutnost harmonika normalno neće dovesti do zastoja kada nema greške. Ali i veća margina znači sporije uklanjanje grešaka i veći rizik od nedjelovanja releja. To govori da, potencijalna prisutnost harmonika pogoršava performanse releja. Također u praksi se u sustavu instaliraju razni tipovi filtera harmonika za ublažavanje harmoničke razine, kako lokalno, tako i u cijelom sustavu. To dodatno smanjuje potencijalnu opasnost od harmonika na zaštitnim relejima u slučaju ispravnih događaja.

Visoka razina harmonika u ekstremnim slučajevima može uzrokovati nepravilan rad releja koji je uglavnom posljedica pogreške mjerenja vršne vrijednosti i/ili kuta valnog oblika. Iz tog razloga, kod mjerenja struja i napona, releji trebaju mjeriti samo osnovnu komponentu signala.

Preporuča se uporaba Fourierovog algoritma za transformaciju radi filtriranja harmonijskog izobličenja i dobivanja efektivne vrijednosti samo osnovnog frekvencijskog signala.

Druga metoda koja se koristi za dobivanje efektivne vrijednosti temelji se na izračunima srednje vrijednosti izravno iz vala. Ova metoda ne eliminira harmonike i stoga je izračunata efektivna vrijednost različita od one temeljne komponente. Ovom se postupkom obično dobivaju veće efektivne vrijednosti, što ukazuje da se u nekim slučajevima može proizvesti suvišno djelovanje prekidača. [7]

4.1.2. Utjecaj odstupanja frekvencije na zaštitne releje

Odstupanje frekvencije je zbog neravnoteže između generacije i potrošnje u elektroenergetskim sustavima. Nedostatak generacije u sustavu uzrokovat će pad frekvencije, a višak generacije povećava frekvenciju. Kada frekvencija osnovne komponente mijenja, harmonici u sustav će slijediti u skladu s tim.

Utjecaj odstupanja frekvencije uključuje uglavnom nepravilnu proradu digitalnih releja. Iako odstupanje frekvencije ima štetno djelovanje na podizanje vrijednosti elektromehaničkih i statičkih releja, malo je dokaza da to može dovesti do nepravilnog djelovanja za takve vrste releja. Za neke tipove zaštite koji se temelje na točnoj frekvencijskoj vrijednosti, kao što su previsoka/preniska frekvencija, odstupanje frekvencije može imati teške posljedice. Za drugi tipove zaštite, glavni problem koji se javlja je da ta frekvencijska odstupanja mogu pomaknuti karakteristike frekvencijskog odziva. To je osobito problem za algoritme koji se temelje na uzorkovanju u fiksnom unaprijed određenom intervalu. Glavni rezultati istraživanja utjecaja odstupanja frekvencije mogu biti sažeta kako slijedi:

- Za jedno ulazne digitalne releje, utjecaj odstupanja frekvencije može se procijeniti proučavanjem karakteristika frekvencijskog odziva relejnog algoritma
- Tehnike mjerenja frekvencije razvijene su za dobivanje samo frekvencijske vrijednosti. U slučaju parametara određenih s više od jednog mjerenja, trebaju se razviti pristupi za davanje točnih rezultata.

Kako je frekvencijsko odstupanje fenomen koji se često događa, to je potrebna ispravna procjena eventualnih pogrešaka zbog kojih je to toga došlo. Velika odstupanja frekvencije

posebno se javljaju tijekom kvarnih stanja sustava. U takvom slučaju posebno je važno da zaštita radi ispravno.

U slučaju varijacija frekvencije, relej mjerenje veličine temelji na uzorkovanju ulaznog signala. Ulazni modul ima unaprijed definiranu broj uzoraka u svakom ciklusu temeljnih frekvencija (tipično od 8 do 64). Iz ovih uzoraka, dobiva se efektivna vrijednost signala.

Digitalni releji moraju prilagoditi frekvenciju uzorkovanja na stvarnu osnovnu frekvenciju sustava. Na taj način, možemo biti sigurni da je izračunata efektivna vrijednost ispravna. Dakle, kako bi se postigla ispravna mjerenja relej treba procijeniti frekvenciju sustava i prilagoditi brzinu uzorkovanja prema tome.

4.2. Prijelazni poremećaji

Glavni prijelazni poremećaji koji mogu utjecati na rad zaštitnih releja su poremećaji uslijed sklopnih operacija. Takvi poremećaji se javljaju zbog nagle promjene valnog oblika stacionarnog stanja uslijed sklopnih operacija. U usporedbi s dugotrajnim poremećajima kao što su harmonici i odstupanje frekvencije, prijelazni poremećaji su kratkog trajanja, ali odstupanje od idealnog valnog oblika je obično veće. Iako su prijelazni poremećaji kratkog trajanja, relativno visoka odstupanja napona i struje su potencijalna prijetnja za ispravno djelovanje zaštitnih releja. Ovaj prolazni poremećaj ima potencijal da utječe ne samo na opremu krajnjeg korisnika na niskoj razini napona, već jednako utječu i na ispravan rad zaštitnih releja u blizini komponente kojom se manipulira na bilo kojoj naponskoj razini. Pogrešne prorade spriječene su u postojećoj opremi pomoću niskopropusnih filtara i intervala potvrde. Ali ova shema će usporiti daljnje generiranje signala za prekid u slučaju kvara.

Snažan je utjecaj sklopnih operacija na zaštitne releje ovisno o vrsti releja. Za elektromehaničke releje, sklopne operacije dovode do nepravilnog protoka struje u induksijskim namotima, stvarajući složene varijacije momenta u releju. Za statičke releje (poluprovodnički relej), ponašanje i granične karakteristike elektroničkog kruga određuju logički izlaz releja tijekom prijelaznog stanja. Za digitalne releje, načelo na kojem se temelji relejni algoritam ne vrijedi tijekom prijelaznog procesa. Rezultat je veliko odstupanje vrijednosti parametra releja od njegove normalne radne vrijednosti. To može lako dovesti do otkrivanja kvara, ali ne bi trebalo

dovesti do generiranja signala za proradu. Releji će proraditi kada vrijednost parametra premašuje prag duže od vremena odlučivanja. Prijelazne pojave sklopnih operacija ovise o vrsti komponente i strukturi sustava ali uglavnom o vrsti komponente.

Razvoj za buduću brzu zaštitu stoga će zahtijevati temeljitu studiju sklopnih operacija i drugih prijelaza. Poticaj koji nastaje zbog sklopnih operacija vjerojatno će znatno smanjiti sigurnosna granica između granične i nominalne vrijednosti. U slučaju značajnijih sklopnih operacija, utjecajem na zaštitne releje moguća je pogrešna prorada ukoliko udar dosegne prag granice.[7]

U tablici 4.1. prikazana je opća klasifikacija izvora za nepravilan rad releja

Tablica 4.1. Klasifikacija neispravnosti releja [7]

Neispravnost	Izvor	Kod	Broj izgubljenih komponenti
Nedjelovanje	Tehnički kvar releja	I	≥ 1
	Usljed valnog oblika napona/struje (greška dizajna ili postavke)	II	≥ 1
Pogrešno djelovanje	Tehnički kvar releja	III	1
	Zbog kvara izvan zone zaštite. Valni oblik struje zbog zasićenja strujnog mjernog transformatora	IV	> 1
	Zbog događaja (uključivanje/isključivanje)	V	1

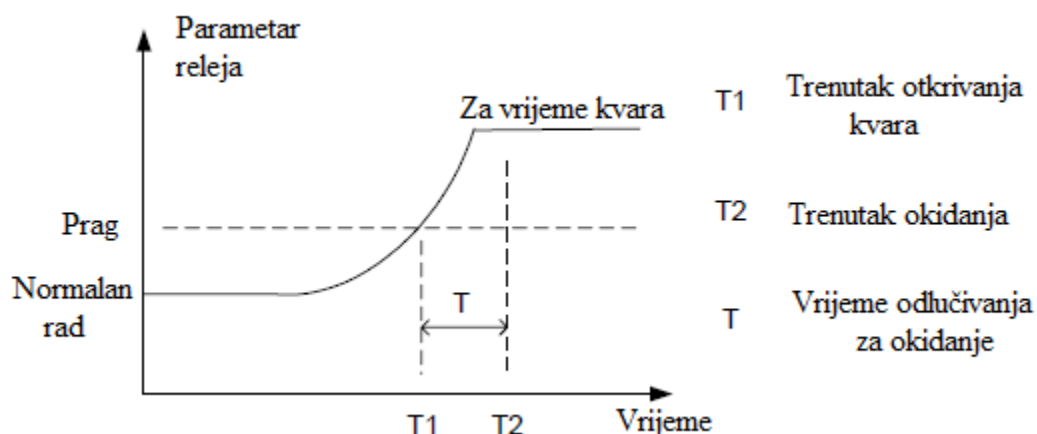
Pogrešna prorada će uvijek dovesti do gubitka najmanje jedne komponente u sustavu. Sa takvog gledišta, pogrešna prorada uzrokuje ozbiljnije oštećenje sustava nego ne djelovanje . Ali kada neuspjeh u proradi vodi do isključenja daljinske zaštite to predstavlja gubitak od najmanje dvije komponente.

Za rješavanje neuspješnog prekidanja, primjenjuje se dodatna zaštita. Ovo znači dva seta zaštitnih releja, poželjno različitih načela rada. Postojanje dva seta zaštitnih releja stvara preklapanje zaštite i normalno učinkovito izbjegava neuspjeh u proradi. S druge strane, slučaj pogrešne prorade je nešto složeniji zbog toga što je jedna pogrešna prorada dovoljna da prekine zaštitu sustava. Rješenje za pogrešnu proradu je ovisno o mnogim čimbenicima, ali uglavnom o imunitetu zaštitnih releja na utjecaje svih ne-kvarnih prijelaza.

2 do 3 zaštitna sustava (tj. rad od najmanje 2 od 3 zaštitna releja potrebni su za potvrdu pogreške) mogu smanjiti oba gore navedena rizika. Ali u ovom slučaju to znači da će sustav zaštite biti 50% skuplji. Tablica 4.1. sažeto prikazuje nepravilne pojave za zaštitni relej. U pogrešnom djelovanju tipovi I i III neovisni su o svakom događaju. Važna je samo unutarnja struktura releja. Vrste II i IV, koje su povezane s događajima kvarova, zajedno s vrstom V, koji je povezan s ispravnim događajima, glavni su problemi za proučavanje prijelaznog utjecaja na releje.

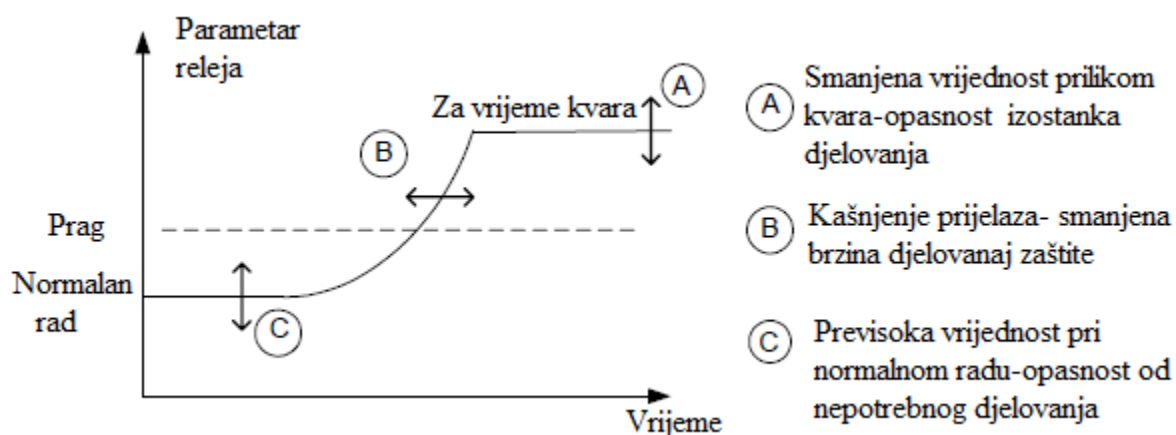
4.3. Utjecaj smetnji na rad releja

Slika 4.1. prikazuje osnove djelovanja relejne zaštite.



Slika 4.1. Osnove djelovanja relejne zaštite

Normalna nesmetana operacija temelji se na određenom parametru prijelaza praga. Između praga i normalnog stanja rada nalazi se sigurnosna granica, koja se uvodi kako bi se izbjegla pogrešna prorada u slučaju harmonika ili preopterećenja. Signal prorade se šalje samo kada izmjerena vrijednost prelazi prag i traje unaprijed određeno vrijeme odlučivanja T . Učinak poremećaja stacionarnog stanja je promjena razine izmjerenih vrijednosti kao i nagib prijelaza, kako je prikazano na slici 4.2. Iz dijagrama se može vidjeti da učinak može biti u bilo kojem smjeru.

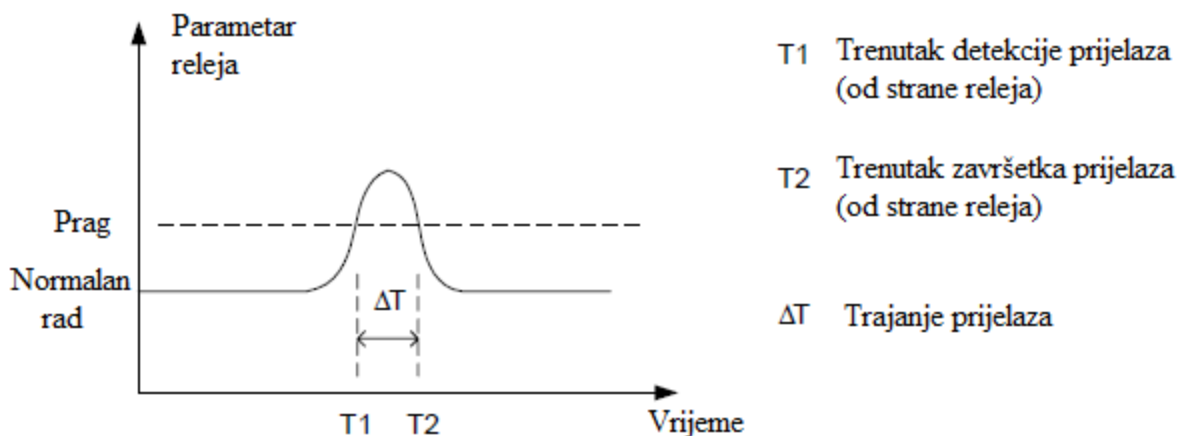


Slika 4.2. Utjecaj smetnji stacionarnog stanja na rad releja

Sažetak učinaka smetnji na učinkovitost rada releja je sljedeći:

- Kada je nominalna vrijednost previsoka zbog prisutnosti poremećaja u stacionarnom stanju, postoji rizik od moguće pogrešne prorade.
- Kada je vrijednost u kvarnom stanju smanjena zbog prisutnosti poremećaja u stacionarnom stanju, postoji potencijalni rizik da zaštita ne proradi.
- Poremećaji u stacionarnom stanju također mogu utjecati na proces tranzicije kada postoji greška. Ako se prijelaz odgađa, brzina djelovanja releja se smanjuje.

Kao što je objašnjeno ranije promatra se učinak poremećaja u stacionarnom stanju na nominalnu vrijednost izmjerenu pomoću releja. Učinak prijelaznih poremećaja može biti privremeni porast do vrijednosti iznad praga, kao što je prikazano na slici 4.3. Da bi se izbjegla pogrešna prorada, ili je potreban veći prag ili duži rok donošenja odluka. U oba slučaja vodi do usporavanja rada releja. [7]



4.3. Utjecaj prijelaznih poremećaja na rad releja

5. KVANTIFIKACIJA POREMEĆAJA U ELEKTROENERGETSKOM SUSTAVU

Kao što je spomenuto prisutnost poremećaja može utjecati na rad zaštitnih releja koji kao izravnu posljedicu ugrožavaju pouzdanost energetskog sustava. Poremećaj može uzrokovati pogrešno djelovanje ili nedjelovanje releja, ovisno o konkretnom slučaju. Ako je poremećaj koji uzrokuje nepravilni rad releja posljedicom kvara dovest će do ispada kako komponenti u kvaru tako i ispravnih komponenti. Za različite poremećaje, neki releji mogu reagirati na isti način. Gubitak više komponenti u sustavu može izazvati velike ispade sustava. Rizik od nepravilne prorade zbog poremećaja se smanjuje tijekom procesa dizajna releja (uglavnom pomoću filtera) i konzervativnim izborom podešavanja praga i vremena. Sve ovo obično dovodi do povećanja vremena otklanjanja kvara i povećanog rizika od nedjelovanja releja. Zapravo, prekasno generiranje signala prekida (npr. prekoračenje kritičnih vremena otklanjanja kvara u kutnoj stabilnosti) također se smatra neuspješnim reagiranjem. Da bi precizno balansirali nedjelovanje, vrijeme otklanjanja kvara, i pogrešnu proradu, potrebno je detaljno poznavanje naponskih i strujnih poremećaja na stezaljkama releja. Procjena utjecaja poremećaja na releje može bez sumnje olakšati izbor odgovarajućih relejnih parametara.

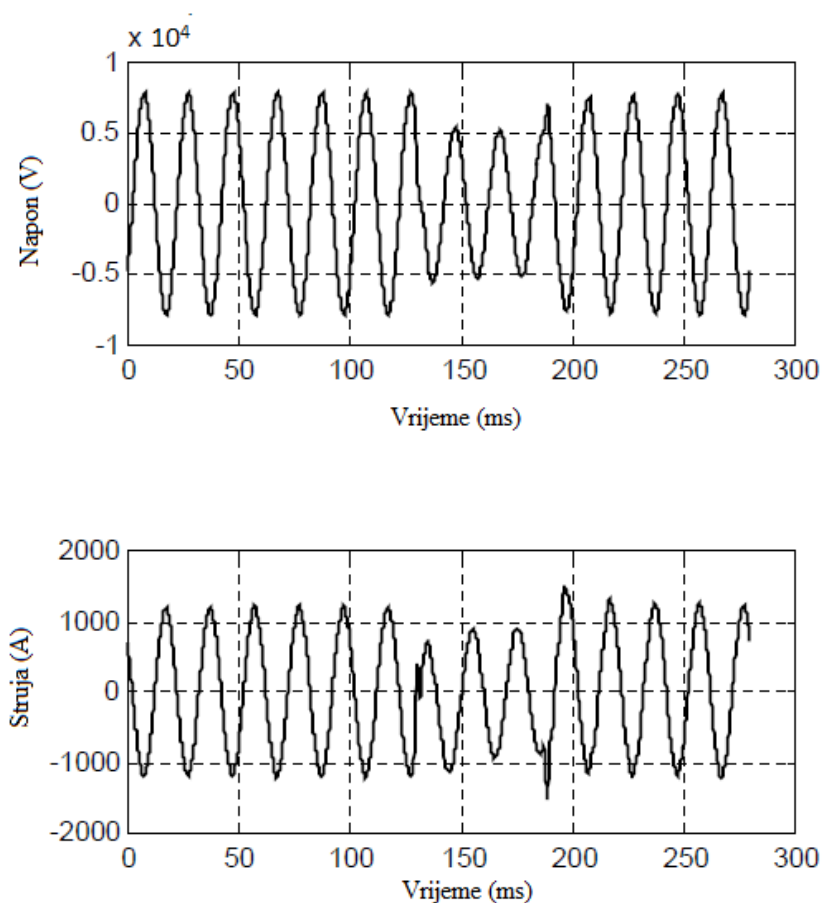
Procjena utjecaja poremećaja može se izvršiti na dva načina. Poremećaj može uzrokovati lažni ulazak izmjerene parametra u zonu okidanja releja, što dovodi do pogrešne prorade. Pristup koji se temelji na tom efektu naziva se kvantificiranje temeljeno na postavkama. Poremećaji također utječu na rad releja na drugi način. Releji se mogu promatrati kao filter koji ekstrahira željenu komponentu od izmjerenih napona i / ili struje. Prisutnost poremećaja će uzrokovati pogrešku pri ekstrahiranju željene komponente. Ovaj pristup se naziva kvantifikacija temeljena na dizajnu. [8]

5.1 Kvantifikacija poremećaja na temelju postavki

U praktičnoj instalaciji, glavna briga je da li će poremećaji aktivirati zaštitu releja pogrešnim ulaskom u područje zaštite. Poremećaj proučavan u ovom radu znači naponski i / ili strujni signal s kratkotrajnim prijelazom, ili dugoročnim iskrivljenjem, ili oboje. Mjereni signali poremećaja imaju ograničeno trajanje, od nekoliko ciklusa do više od deset ciklusa. Da bi procijenili utjecaj poremećaja, potrebno je proučiti moguće područja udara za poremećaje.

5.1.1. Faktor utjecaja poremećaja

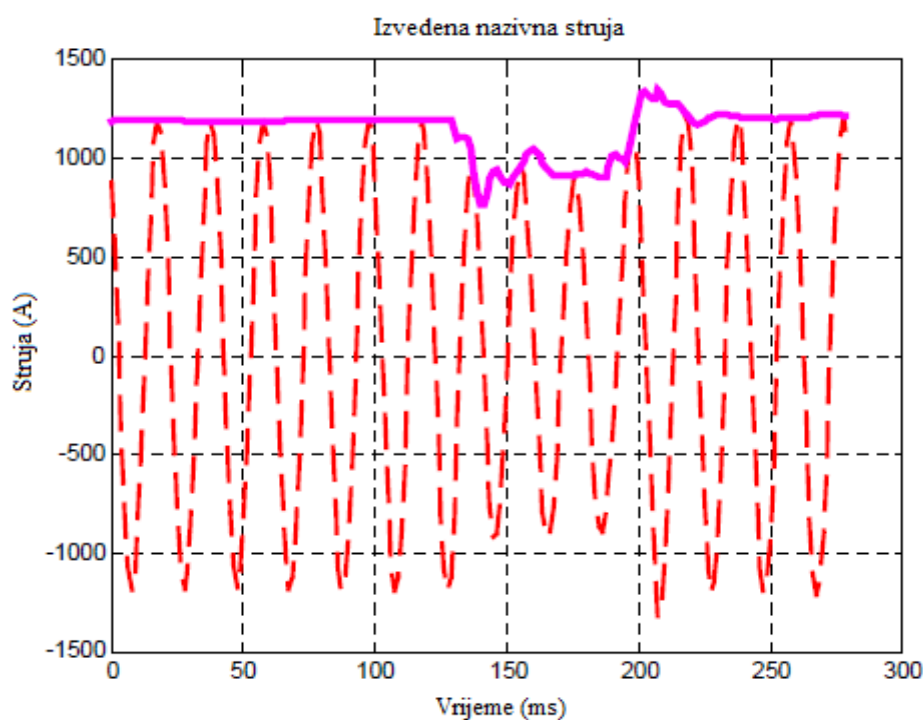
Slike. 5.1.-5.2. daju primjer takvih poremećaja, za nadstrujni relej.



Slika 5.1. Signali poremećaja [8]

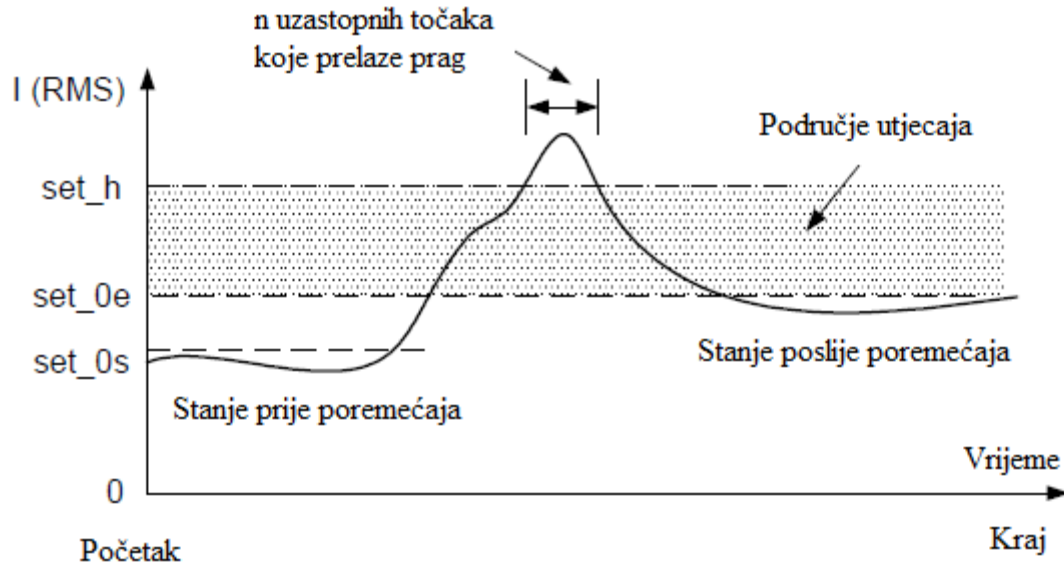
Slika 5.1. prikazuje naponski propad : prikazani su i napon (vrh) i struja (dno). Propad traje 3 ciklusa prije nego se napon oporavi. S padom napona struja se smanjuje u skladu s tim. U

trenutku početka i kraja propada primjetni su prijelazni poremećaji naponskih i strujnih valnih oblika, posebno na valnom obliku struje. Odziv nadstrujnog releja na ovaj poremećaj prikazan je na slici. 5.2. Isprekidana krivulja daje izmjerenu struju, kao u donjoj plohi na Slici 5.1. Izlazna krivulja (puna krivulja) dobiva se primjenom Fourierovog algoritamskog filtra na strujni valni oblik. Koristi se vrijeme uzorkovanja od 1 ciklusa. Dijagram pokazuje da takav relej (filtar) može ukloniti šiljke na valnom obliku ulaznog signala. Međutim izlaz (puna linija na slici) prikazuje prijelazne karakteristike na početku i na kraju razdoblja propada. Izlaz filtra pokazuje pad struje iza kojeg slijedi prekoračenje. Kako je vrijeme uzorkovanja duljine 1 ciklusa, izlaz unutar 1 ciklusa nakon bilo koje iznenadne promjena ili prolazne pojave u signalu je netočan.



Slika 5.2. Utjecaj smetnje na podešenje nadstrujnog releja [8]

Status na početku i na kraju mjernog prozora smatra se stabilnim za najmanje jedan ciklus; varijacija u signalu između određuje utjecaj na rad releja. Jačina poremećaja se daje u odnosu na vrijednost stalnog stanja. Koristi se vrijednost prije ili poslije poremećaja, ovisno o tome koja je od njih veća. Dan je primjer na slici. 5.3.



Slika 5.3. Područje utjecaja za nadstrujni relej [8]

Na slici 5.3., izlaz filtra releja je prikazan kao krivulja. Tijekom određenog dijela poremećaja, izlaz filtra releja prelazi vrijednosti prije i poslije poremećaja. Pretpostavlja se da je u generičkom nadstrujnom algoritmu usvojena odgoda za provjeru odluke. U digitalnim relejima, takvo kašnjenje znači određeni broj uzastopnih točaka koje su iznad unaprijed postavljenog praga. Pomicanjem linije paralelno s vremenskom osi gore i dolje, uvijek se može naći određena razina praga, iznad koje se nalazi unaprijed određeni broj uzastopnih točaka. Takva razina praga je pod nazivom set_h , što predstavlja najveću moguću granicu koju izlaz filtra može preći i zadržati za unaprijed određeno trajanje. Vrijednosti struje prije poslije poremećaja definirani su kao set_{0s} i set_{0e} .

Da bi se kvantificirala jačina utjecaja, uveden je faktor poremećaja D . Ako postavimo $_0 = \max (set_{0s}, set_{0e})$ ili $_0 = \min (set_{0s}, set_{0e})$, ovisno o vrsti zaštite, tada se faktor poremećaja definira kao:

$$D = \left\lfloor \frac{(set_h - set_0)}{set_h} \right\rfloor \quad (5-1)$$

Slika 5.3. Prikazuje područje utjecaja počevši od vrijednosti nakon smetnji.

5.1.2 Utjecaj poremećaja na razne vrste zona postavljanja releja

Kad god se dogodi poremećaj, potrebno je znati njegov potencijalni utjecaj na različite vrste zaštite. Za sveukupnu procjenu poremećaja, proučava se područje utjecaja sljedećih releja:

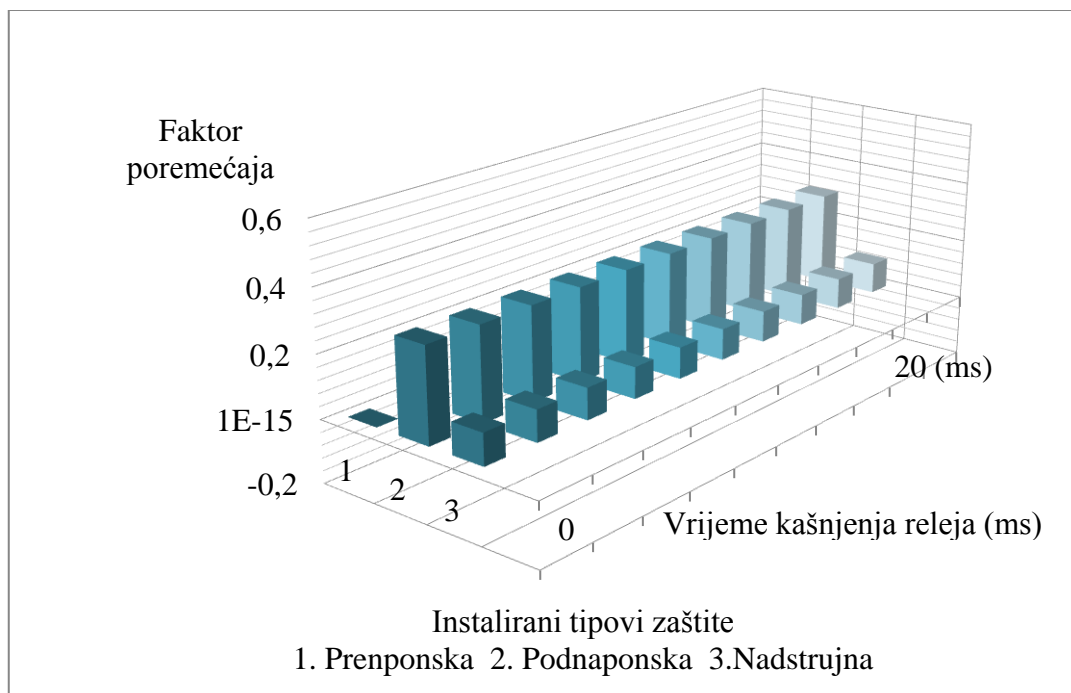
- Prenaponski ($V \uparrow$)
- Podnaponski ($V \downarrow$)
- Nadstrujni ($I \uparrow$)

Tablica 5.1. navodi moguće poremećaje i njihov utjecaj na zone postavljanja raznih zaštitnih releja. Kako u praksi više od jednog faktora može doprinijeti poremećajima, njihov utjecaj na različite releje možda nije potpuno točan onako kako je prikazano u tablici. U svakom slučaju, ova tablica pruža grubu ocjenu o mogućim sekvencama poremećaja na releje.

Tablica 5.1. *Smetnje i odgovarajući utjecaj* [8]

$V \uparrow$	$V \downarrow$	$I \uparrow$	Tip smetnje
+	+	-	Prijelazni napon
-	-	+	Prijelazna struja
+	-	-	Prenapon
-	+	+	Propad napona
+	+	-	Fluktuacije napona
-	+	+	Kratkotrajno preopterećenje
+ potencijalni utjecaj			- mali ili nikakav utjecaj

Sakupljanje svih kvantificiranih informacija o utjecaju daje ukupnu procjenu efekta poremećaja na kršenje postavki releja. Primjer takvog ilustrativnog dijagrama prikazan je na grafu.



Slika 5.4. *Primjer dijagrama utjecaja poremećaja na različite releje*

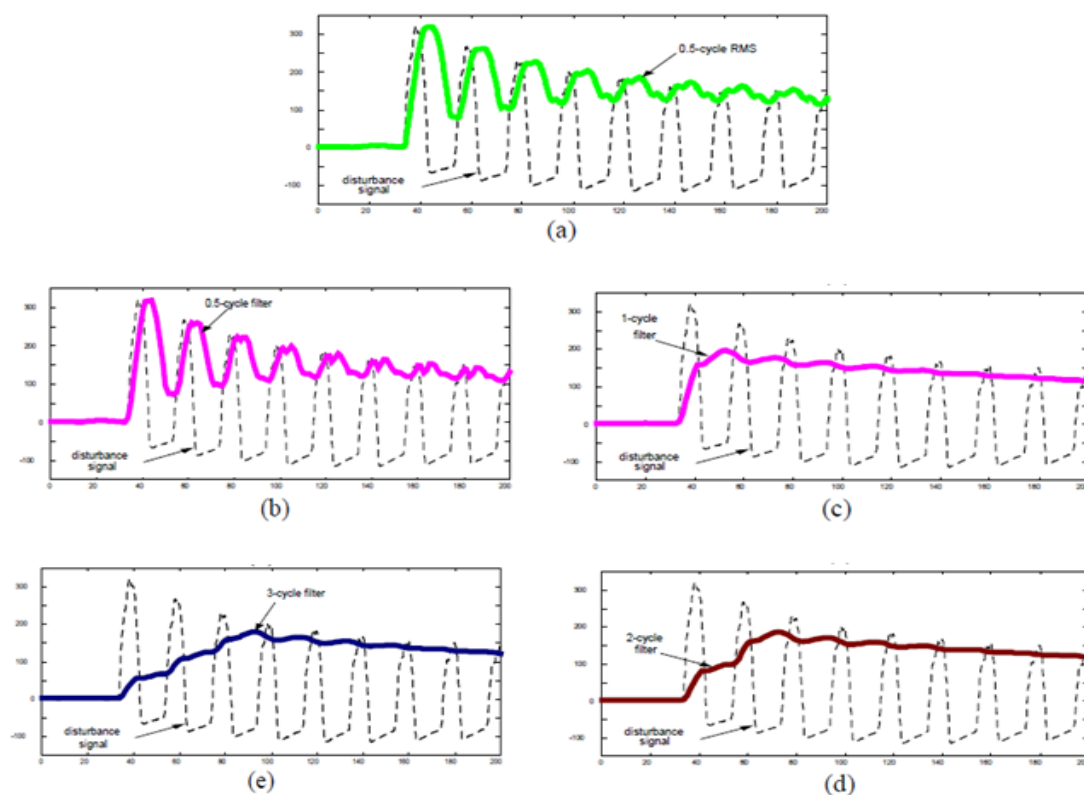
U dijagramu je prikazano trajanje poremećaja i težina njegovog utjecaja na određenu vrsta releja. Ona pruža intuitivnu procjenu mogućeg utjecaja zbog ulaznog signala poremećaja. Dijagram u kojem sve vrijednosti u ravnini $D=0$ (čimbenik poremećaja je nula) podrazumijeva se da smetnja nema utjecaja na releje. Korisno je u određivanju sigurnosne granice podešavanja releja. Signali smetnji mogu se kvantificirati i rangirati na temelju podataka u ovom dijagramu, ovisno o naglašenom dijelu zaštitne sheme.

5.2 Kvantifikacija poremećaja temeljena na dizajnu

Važan dio dizajna digitalnih releja uključuje i ekstrakciju temeljne komponente pomoću digitalnog filtra. Bez obzira na uzrok poremećaja, digitalni filter smatra ih samo kao grupu ulaznih signala koji sadrže ne samo temeljnu komponentu već i druge neželjene. Među neželjenim komponentama, neke se mogu lako ukloniti dok se druge mogu pojaviti na izlazu filtra. Kvantifikacija temeljena na dizajnu ima za cilj označavanje signala koji sadrže komponente koje je teško ukloniti. Sljedeće poglavlje opisuje način procjene utjecaja te komponente na izlazne karakteristike releja.

5.2.1 Faktor utjecaja poremećaja

Veličina i oblik prozora značajno utječu na izlaz filtra. Ovo je prikazano na slici 5.5. gdje je amplituda temeljne komponente integrirana za kosinus /sinus prozore različitih veličina, zajedno s (vremenskom domenom) čimbenikom poremećaja.



Slika 5.5. Izlazni signali filtrirani različitim filtrima [8]

Slike (b), (c), (d) i (e) na Slici 5.5. dobivaju se primjenom Fourierovog filtra s širinama prozora 0,5, 1, 2 i 3 ciklusa. Slika (a) je dobivena računanjem efektivne vrijednosti (RMS) tijekom prozora od 0.5 ciklusa. Slike pokazuju snažnu oscilaciju za prozor polu ciklusa, ali samo manje oscilacije za veće širine prozora. Proširenje prozora duljina od jednog do tri ciklusa ne smanjuje oscilacije. Zaključci se primjenjuju samo na taj specifičan signal i možda se ne mogu općenito održati. U skladu s karakteristikama izlaznog releja, mogući su različiti rezultati za različite filtre. Većina releja je dizajnirana za rad pod osnovnom frekvencijom. Ako je dostupna osnovna komponenta, utjecaj poremećaja na performanse releja se mogu procijeniti provjeravanjem podešavanja graničnog pomaka zbog poremećaja. Međutim, veliki broj mogućih događaja i konfiguracija sustava daju gotovo neograničenu količinu kombinacija komponenti signala. Nije moguće dizajnirati filter koji u svim slučajevima ekstrahira točna vrijednost temeljne komponente. Stoga se ne poznaje referenca s kojom se može usporediti izlaz određenog filtra.

Postoji međutim neizravni način za procjenu utjecaja određenog poremećaja - uspoređivanjem izlaza filtra s različitim relejnim filtrima. Ako svi filteri daju slične postavke granica, onda se može biti siguran da neželjene komponente u ulaznom signalu nisu od velike važnosti. Oni mogu biti male veličine ili ih lako uklanjaju svi filteri. Ako postoji značajan pomak u postavljanju granica između različitih filtera, to znači da postoji nešto u ulaznom signalu koji može ozbiljno utjecati na performanse releja. Neka postavka filtra s jednim ciklusom bude referentna vrijednost set_0 a postavka drugog filtra bude set_h , čimbenik poremećaja D , koji ima nešto drugačije značenje od onog uvedenog u odjeljku 5.1.2 definiran je izrazom:

$$D = \left| \frac{(set_h - set_0)}{set_h} \right| \quad (5-2)$$

Gdje su set_h i set_0 definirani iznad .

Ovaj izraz je isti kao i 5-1.

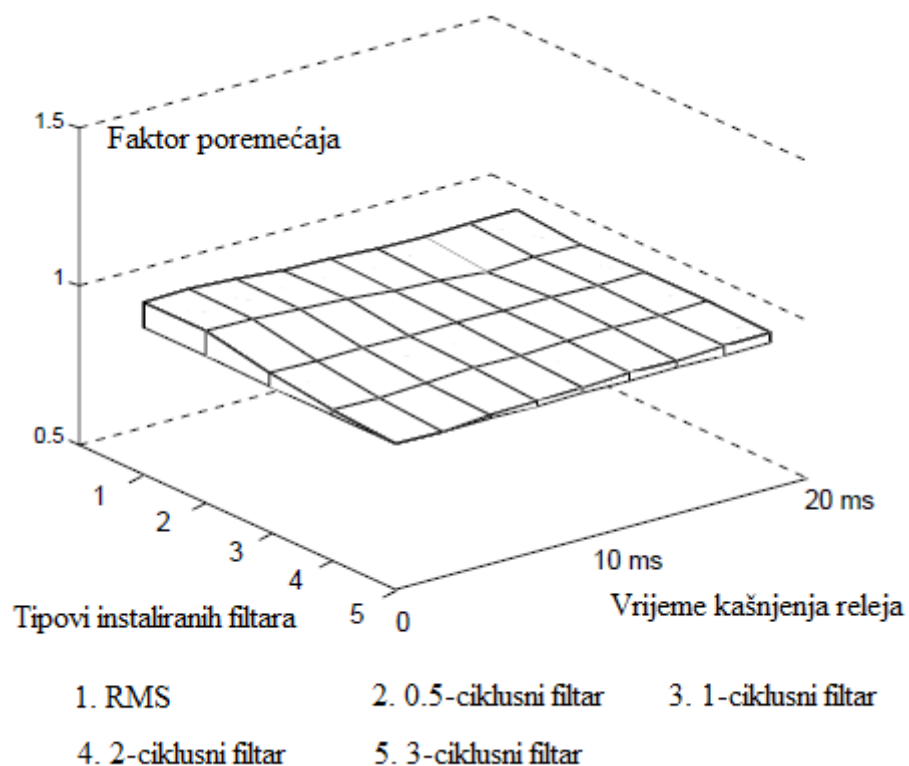
5.2.2 Utjecaj poremećaja na različite vrste relejnih filtara

Duljina prozora određuje frekvencijski odziv filtra. Tablica 5.2. prikazuje sposobnost različitih filtara za uklanjanje različitih neželjenih komponenata.

Tablica 5.2. *Sposobnost filtra da ukloni smetnje*

	RMS(0.5-ciklus)	0.5-ciklus	1-ciklus	2-ciklusa	3-ciklusa
Prijelazne pojave					
Neparni harmonici		+	+	+	+
Parni harmonici			+	+	+
DC			+	+	+
1/2 međuharmonici				+	
1/3 međuharmonici					+

Kad god postoji prijelazna pojava, filter ne može u potpunosti ispravno raditi. Ovisno o veličini prozora, filter neće dati ispravan izlaz s vremenom manjim od vremena jednog vremena uzorkovanja, što znači da ne postoji način da filter izvuče točnu temeljnu komponentu. Zadnja dva fenomena u tablici, 1/2 međuharmonici i 1/3 međuharmonici, pojavljuju se u nekim posebnim slučajevima. Moguće je postojanje 25 Hz i 125 Hz međuharmonika (50 Hz sustav) zbog DC lučnih peći. Iz tablice 5.2. jasno je da obično dulji prozor za uzorkovanje daje i točniji izlaz. Međutim, više ciklusa za uzorkovanje također znači dulje vrijeme donošenja odluka. Dakle, ovo je opet prije spomenuti kompromis između vremena i točnosti. Slično pristupu u poglavlju 5.1, druga vrsta ilustrativnog dijagrama usvojena je kako bi se ocijenila težina poremećaja. Primjer je prikazan na slici 5.6.



Slika 5.6. Utjecaj smetnji na različite tipove filtara [8]

U ovom dijagramu varijacija težine utjecaja iznosi oko 1,0. Svi vrijednosti čimbenika poremećaja čine površinu. Površina bliže ravnini $Z = 1,0$ znači manje neželjenih komponenata ili varijacija. Što je veća zakrivljenost na određenim točkama, to je jači utjecaj.

6. ISTRAŽIVANJE UTJECAJA POJEDINIH SMETNJI I REZULTATI ANALIZE

U ovom poglavlju na digitalni relej se primjenjuju brojni izmjereni poremećaji koji pokazuju ozbiljnost utjecaja smetnji. Svi releji u studiji koriste frekvenciju uzorkovanja od 800 Hz (16 uzoraka po ciklusu). Provede se analize i za kvantifikaciju na temelju postavki i na kvantifikaciju na temelju dizajna. U svakom od dva uvjeta, ispitano je nekoliko tipičnih poremećaja. Njihovi utjecaji na poremećaje prikazani su u takvim dijagramima kako je predloženo u poglavlju 5. Dijagrami se tumače i opisuju. Izvučeni su podrazumijevani zaključci iza ovih dijagrama. Usporedba između različitih slučajeva napravljena je u posljednjem dijelu. Raspravlja se o razvoju kriterija utjecaja poremećaja.

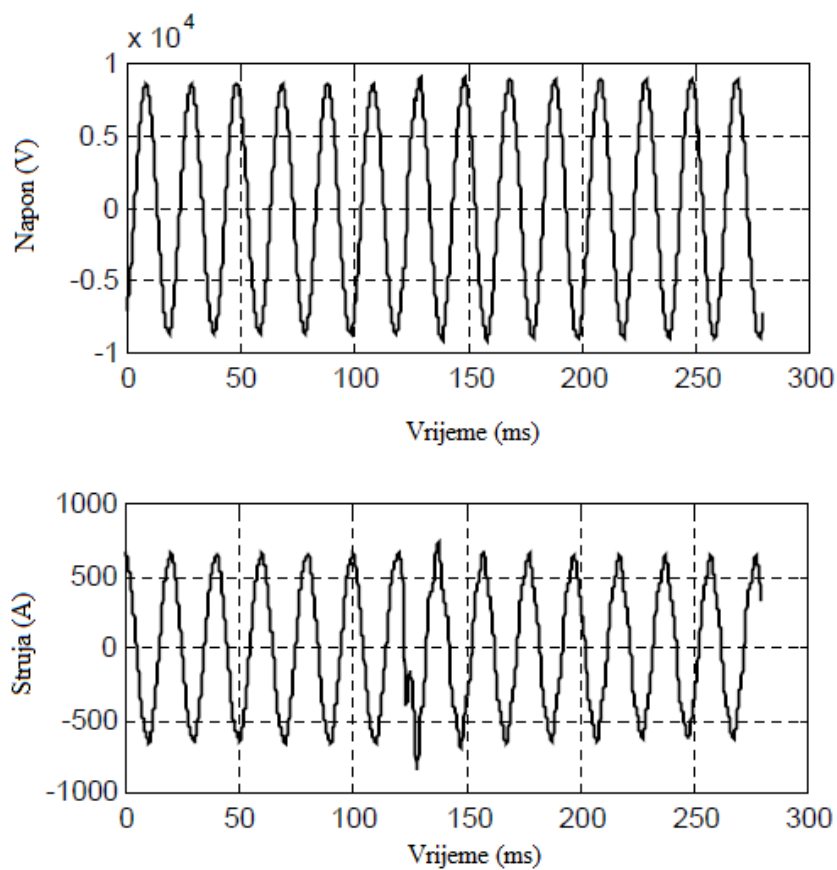
6.1. Procjena utjecaja poremećaja na temelju postavki

U ovom se dijelu koriste 5 tipičnih poremećaja za ispitivanje kvantifikacije na temelju postavki. To su:

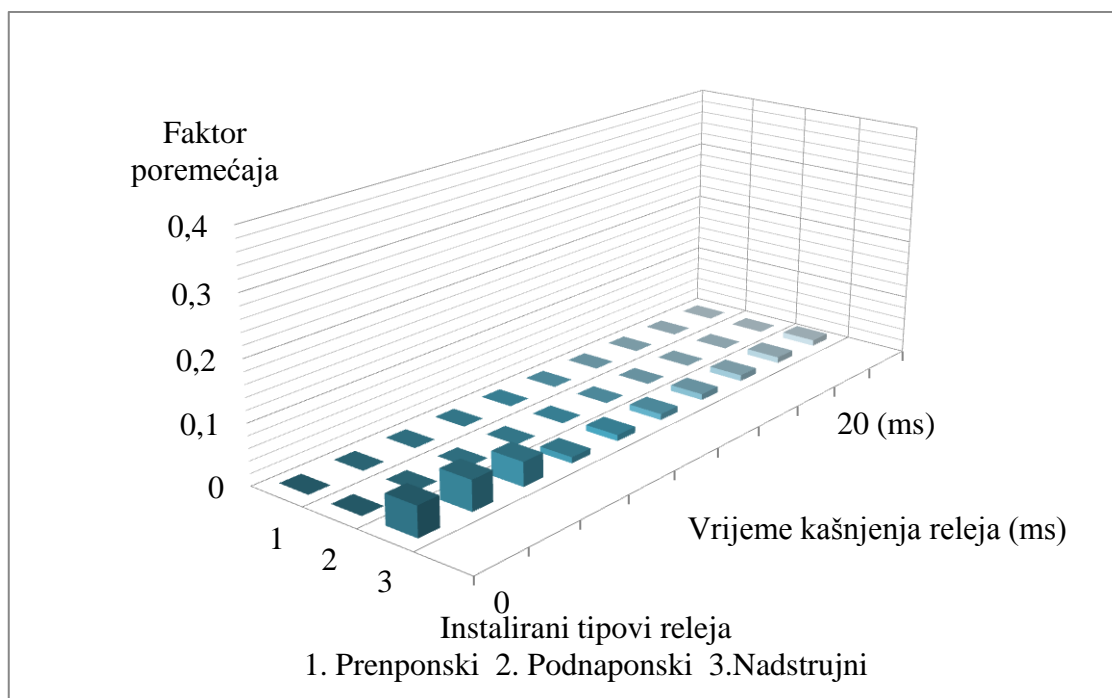
- Prijelazna struja,
- Prijelazni napon,
- Uklopna prijelazna struja,
- Propad napona,
- Kolebanje napona,

6.1.1. Prijelazna struja

Ovo je signal poremećaja izmjeren u sustavu od 10 kV. Došlo je do prijelaza u određenom trenutku, a kasnije se smanjuje. Osim toga, postoji i harmoničko izobličenje u valnom obliku struje. Naponski i strujni valni oblici su prikazani na slici 6.1.



Slika 6.1. Poremećaj uslijed prijelaza struje (Švedska)[8]

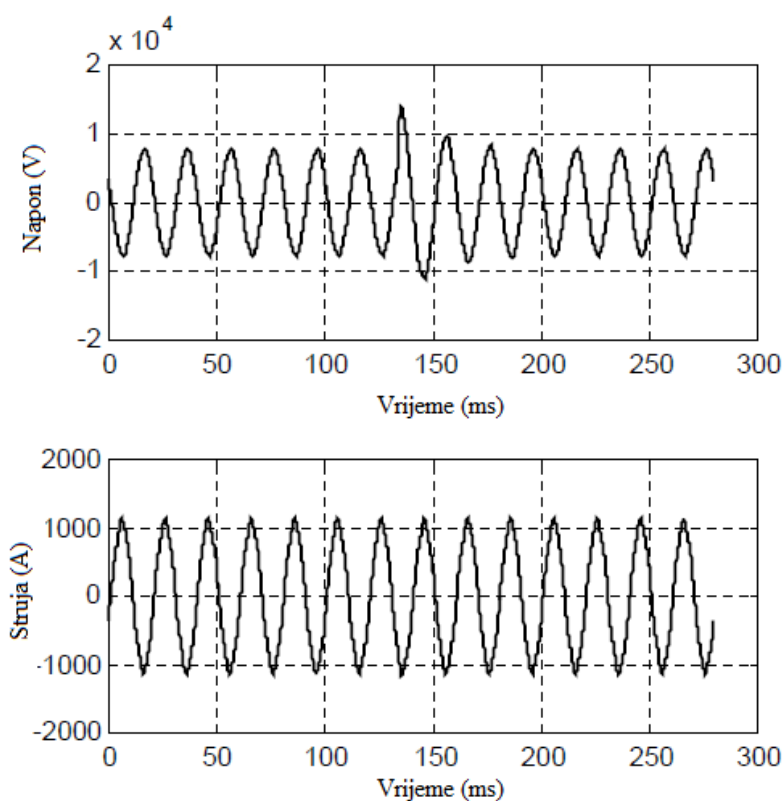


Slika 6.2. Utjecaj prijelaza struje na zonu podešavanja releja

Iz slike 6.1., opaženo je da prijelaz traje oko četvrtine ciklusa (5 ms). Njegov utjecaj na zonu postavljanja releja prikazan je na slici 6.2. Ovo prijelazno stanje će imati malo utjecaja na bilo koju vrstu zaštitnog releja.

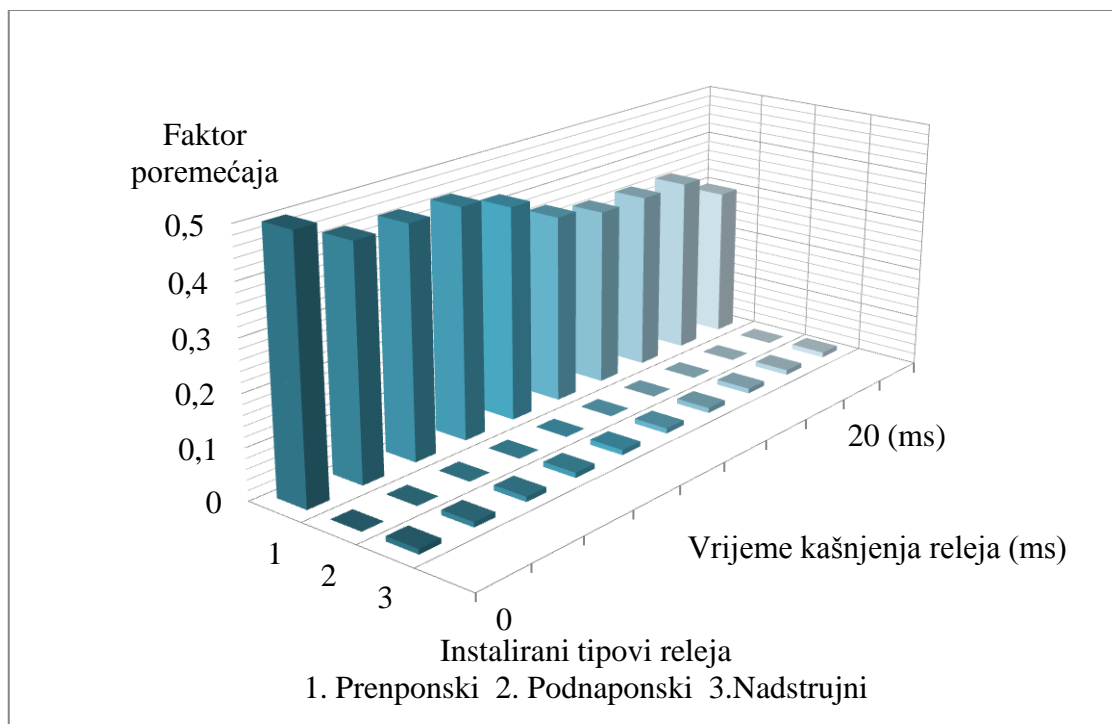
6.1.2. Prijelazni napon (udarna prijelazna stanja)

Slika 6.3. prikazuje povećanje prijelaznog napona opet izmjereno u 10 kV sustavu. Postoji veliki prenapon kad se napon približi vršnoj vrijednosti. Takav prijelaz traje oko 2 ciklusa prije nego što se smanji.



Slika 6.3. *Poremećaj uslijed prijelaznog napona (Švedska)[8]*

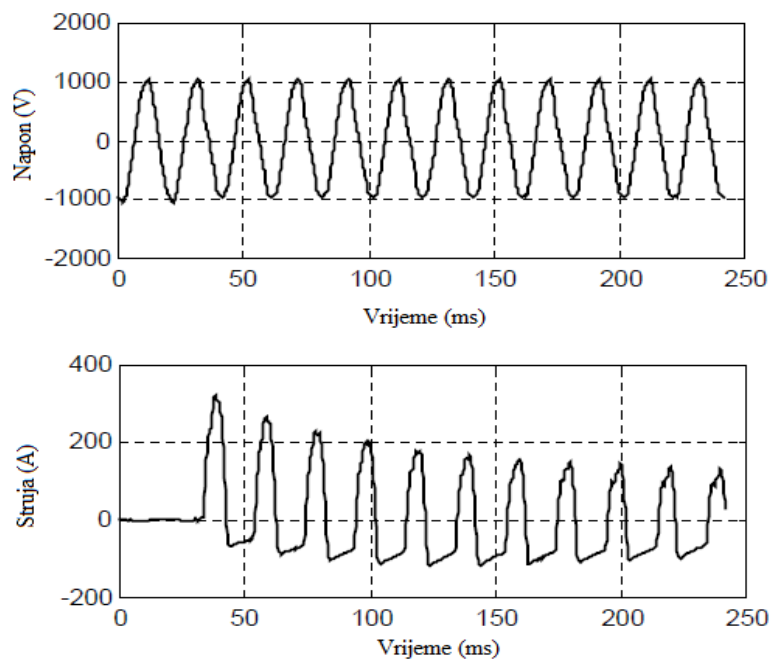
Prijelazna pojava može imati znatan utjecaj na rad prenaponskog releja. Kao što je prikazano na Slici 6.4., utjecaj se ne smanjuje unutar 1 ciklusa, čineći rizik od prorade prenaponskog releja ako je kašnjenje 20 ms ili manje.



Slika 6.4. Utjecaj prijelaza napona na zonu podešavanja releja

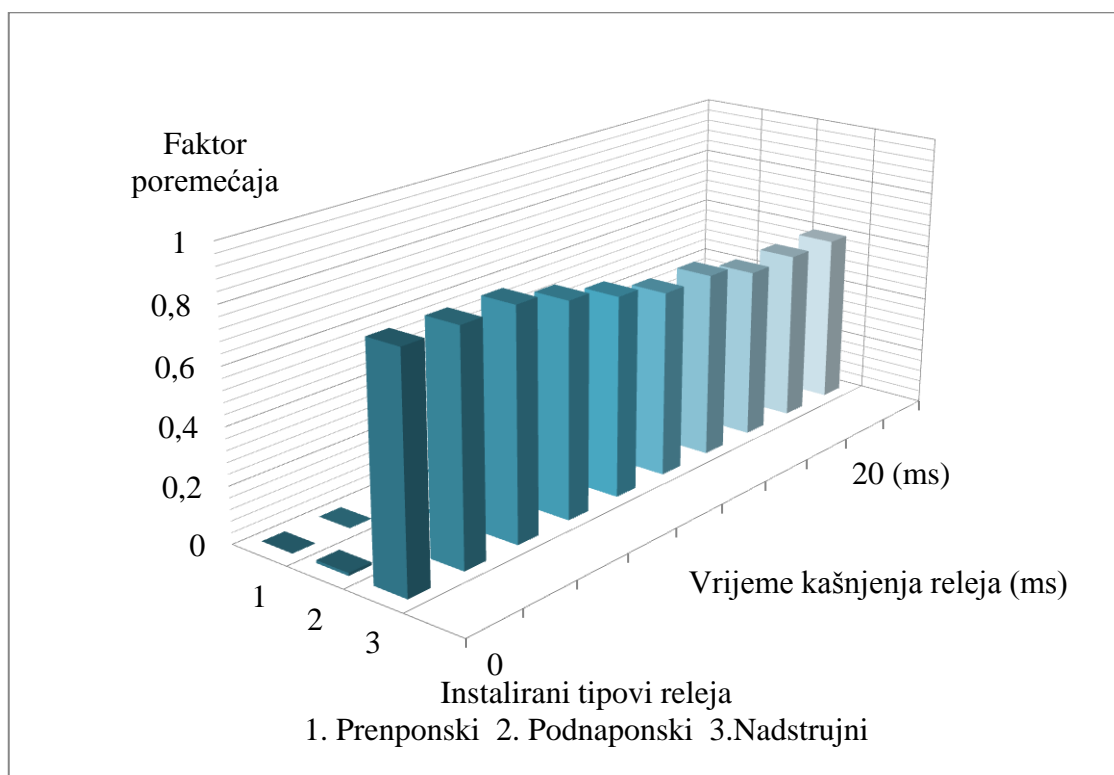
6.1.3. Uklopna prijelazna struja

Prijelazna pojava u ovom slučaju se javlja zbog prebacivanja komponenata u LV sustavu.



Slika 6.5. Prijelaz struje uključenja (Škotska)[8]

Prijelazna pojava generirana u ovoj situaciji sadrži i neparne i parne harmonike, koji nakon nekog vremena slabe. Razdoblje prigušenja je tako dugo da prijelaz prijeti radu nekih releja. Na Slici 6.6., pokazano je da je nadstrujni relej potencijalno pogođen.

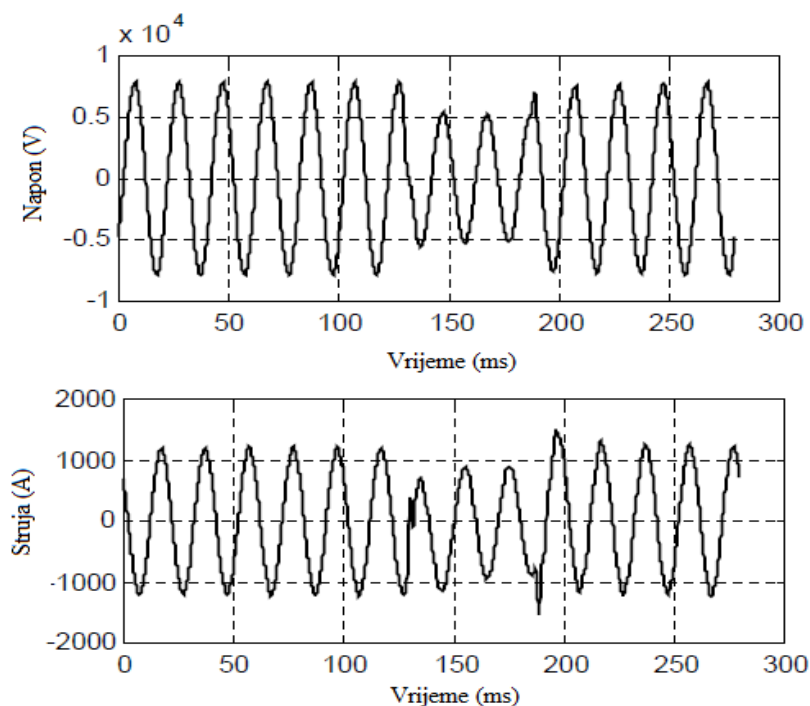


Slika 6.6. Utjecaj struje uključenja na zonu podešavanja releja

Zbog velikog prekoračenja struje, poremećaj ima značajan utjecaj nadstrujne releje.

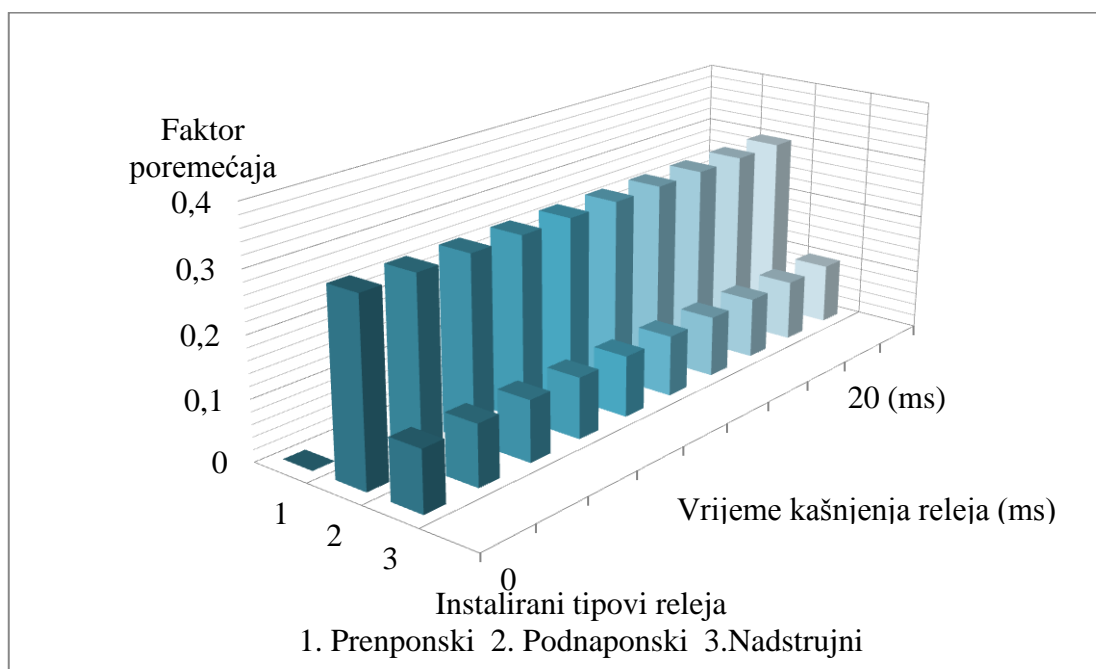
6.1.4. Propad napona

Kada se u sustavu pojavi propad napona, struja opterećenja na određenom napojnom vodu može se kratkotrajno povećati ili smanjiti, ovisno o vrsti priključenog opterećenja i položaju nadzora. Slika 6.8. prikazuje primjer istodobnog smanjenja napona i struje.



Slika 6.7. Poremećaj uslijed propada napona[8]

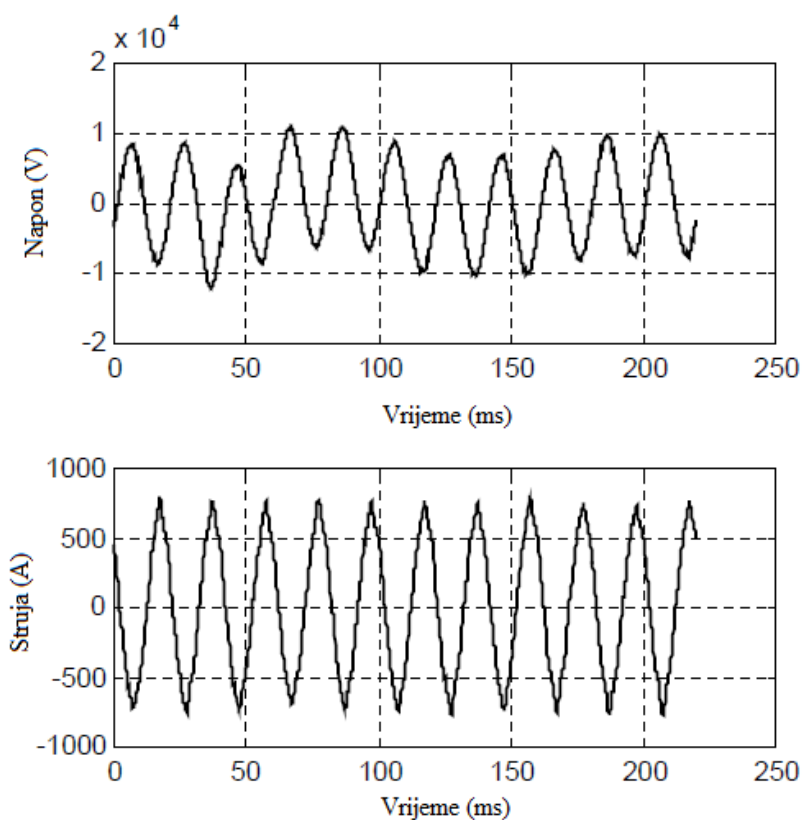
U ovom slučaju utječe se na dvije vrste releja, kao što je prikazano na Slici 6.8. Utječe na podnaponski i nadstrujni relej. Rizik od djelovanja podnaponskog releja postoji toliko dugo koliko traje propad. Prekoračenje struje na kraju propada je relativno neznatno, čime ima manje utjecaja na nadstrujni relej u usporedbi s podnaponskim.



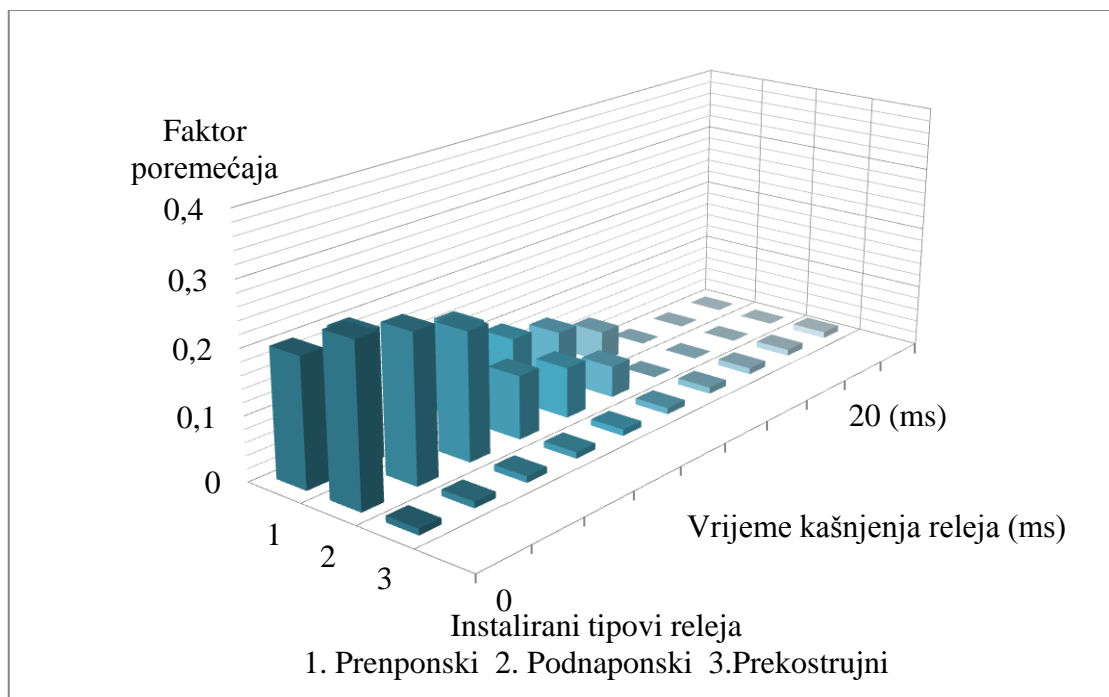
Slika 6.8. Utjecaj propada napona na zonu podešavanja releja

6.1.5. Kolebanje napona

Slika 6.9. pokazuje tipičan slučaj kolebanja napona. Njegov utjecaj na sve vrste releja prikazan je na slici 6.10. Takvo kolebanje napona može utjecati na sve releje osim na nadstrujne releje. Iz dijagrama utjecaja očigledno je da je štetni utjecaj veći u manjem vremenskom kašnjenju, a zanemariv ako vrijeme kašnjenja veće od pola ciklusa. To znači da samo uzrokuje problem samo relejima bržim od 0,01 s. Osim toga, težina utjecaja nije velika kao u prethodnim slučajevima. Sve je ovisno o frekvenciji i veličina naponskog kolebanja.



Slika 6.9. *Poremećaj uslijed fluktuacije napona[8]*



Slika 6.10. Utjecaj fluktuacije napona na zonu podešavanja releja

6.2 Evaluacija utjecaja poremećaja na temelju dizajna

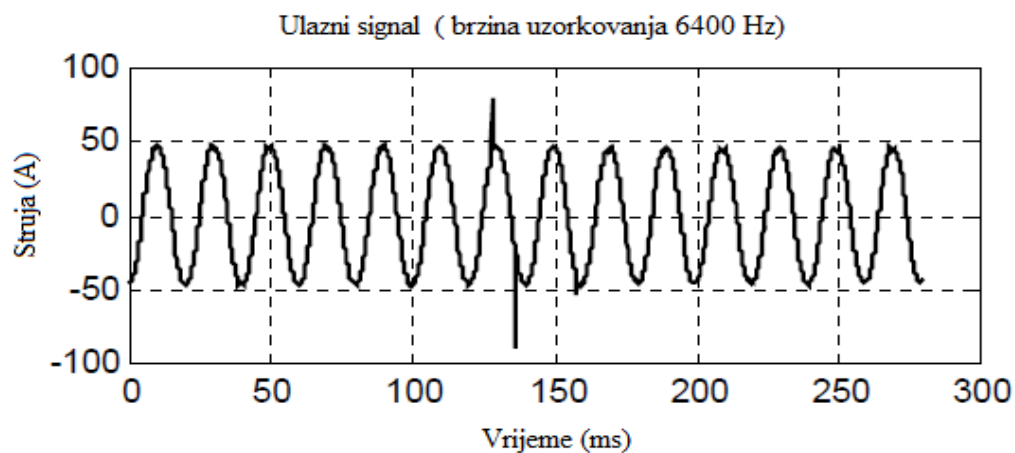
U ovom se dijelu proučava 8 tipičnih slučajeva smetnji:

- Prijelazna struja 1,
- Prijelazna struja 2,
- Prijelazna struja 3,
- Porast struje,
- Propad sa velikim zasićenjem transformatora,
- Neparni harmonici,
- Međuharmonici,
- Struja isprekidanog opterećenja

Njihov utjecaj na filter releja ilustrirani su dijagramima, zajedno s mogućim objašnjenjima.

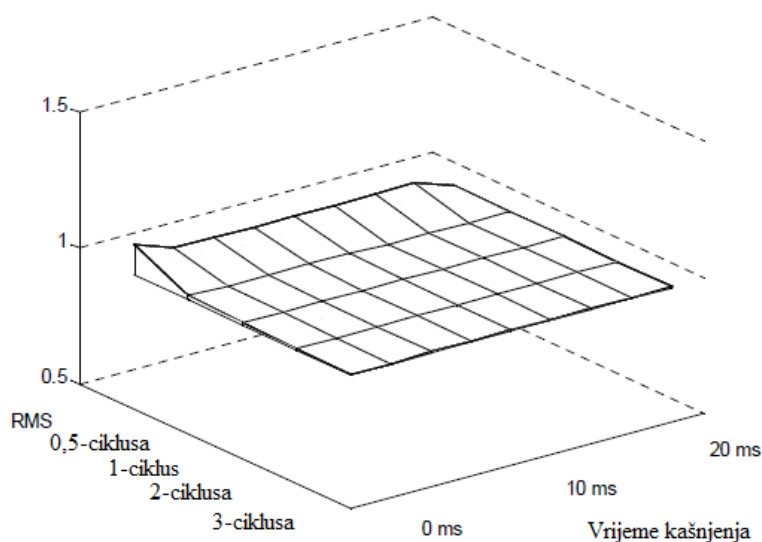
6.2.1. Prijelazna struja 1

Slika prikazuje tipičnu prijelaznu struju u LV sustavu.



Slika 6.11. *Prijelazna struja 1 (Švedska)*[8]

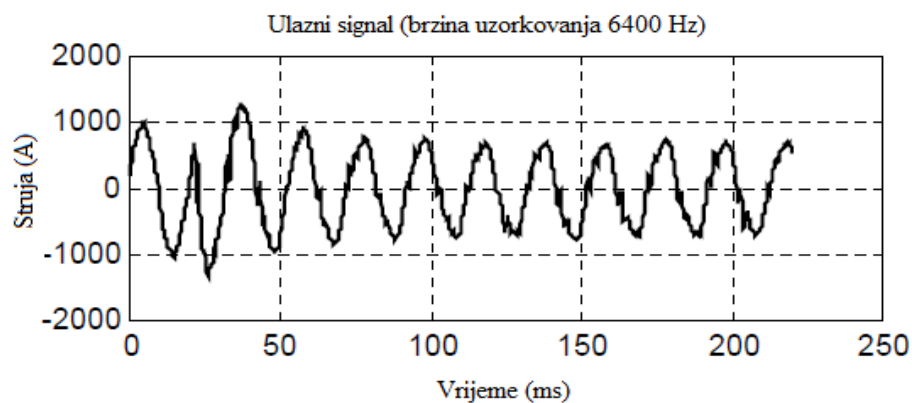
Odzivi različitih filtara na prijelaznu struju prikazani su na Sl. 6.12. Rezultat je prilično ravna ravnina, što znači da nema razlika u promatranju ulaznog signala svih filtara. U drugom riječi, šiljke na trenutnom valnom obliku zanemaruju gotovo svi algoritmi. Algoritam RMS-a najosjetljiviji je za manje odgode 0,02 s.



Slika 6.12. *Utjecaj prijelazne struje 1 na performanse releja* [8]

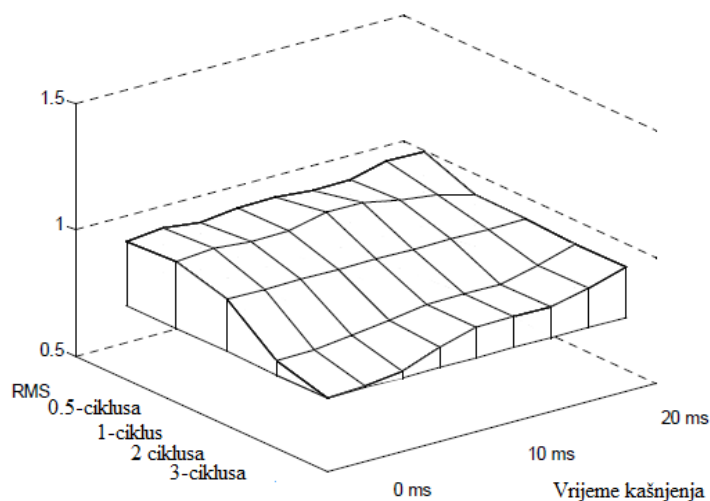
6.2.2. Prijelazna struja 2

Ovo je prijelazna struja s dužim trajanjem i očiglednim faznim pomakom, kao što je prikazano na slici 6.13.



Slika 6.13. *Prijelazna struja 2 (Norveška)[8]*

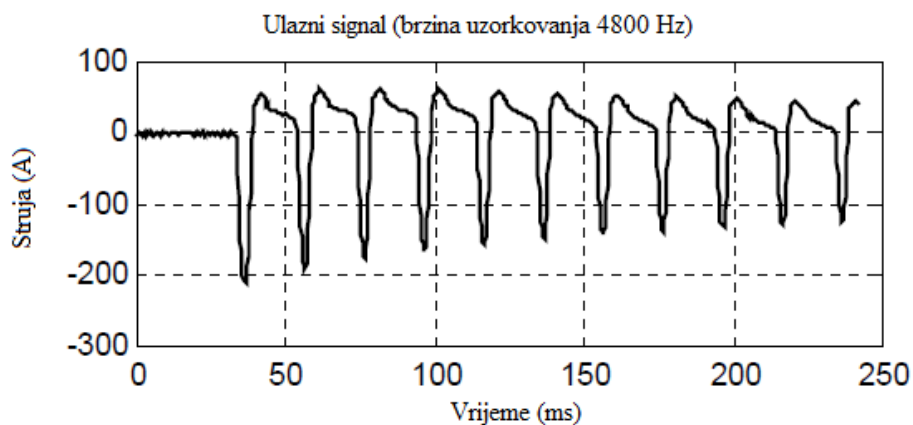
U usporedbi s rezultatom u prethodnom slučaju, utjecaj na filter releja će biti značajan. Odgovori različitih relejnih filtera su različiti. Razlika je najveća kada je vrijeme kašnjenja releja 0 s, što odražava razlike među vršnim vrijednostima na krivulji odziva različitih filtera. Vrijednosti kod vremenskog kašnjenja 20 ms gotovo su jednake. To znači da se mijenjanjem tipa releja ne uzrokuje promjena učinka releja pod takvim prijelazima, ako je vrijeme kašnjenja releja 20 ms.



Slika 6.14. *Utjecaj prijelazne struje 2 na performanse releja [8]*

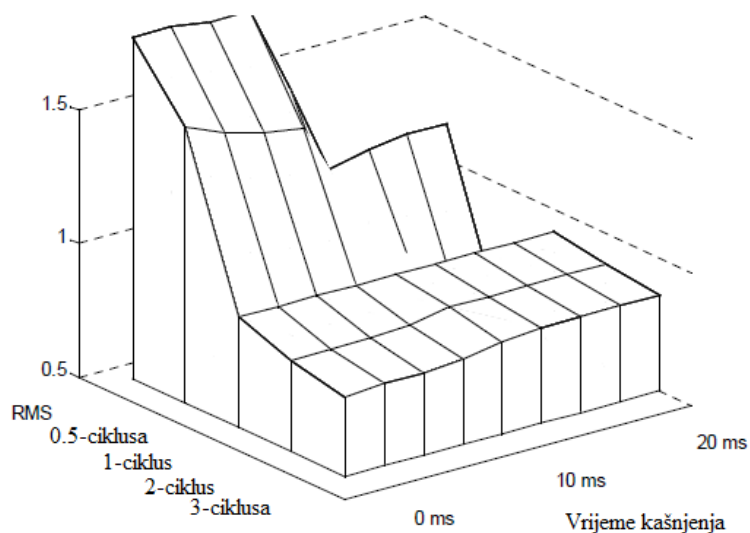
6.2.3. Prijelazna struja 3

Ovaj slučaj pokazuje struju uključanja za ponovno uklapanje napojnog voda. Sadrži velika harmonijska izobličenja, s prisutnim neparnim i parnim komponentama.



Slika 6.15. *Prijelazna struja 3 (Škotska) [8]*

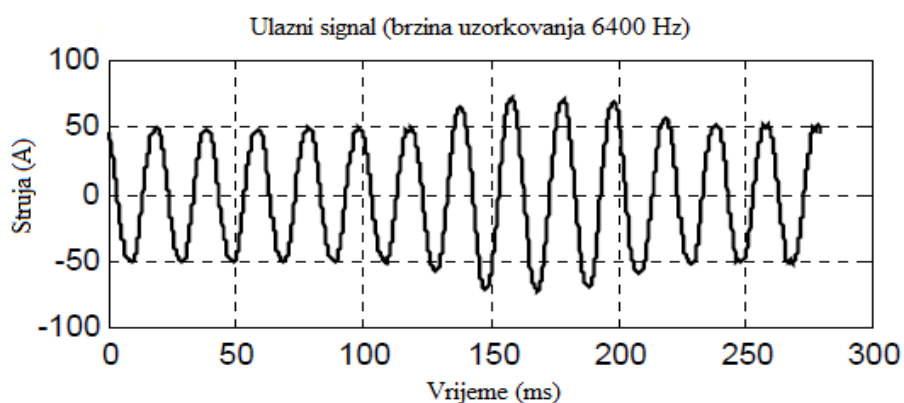
Iz rezultata na Slici 6.16, opaženo je da je prijelaz ima ozbiljna utjecaj na performanse releja ako je odabran RMS ili algoritam filtra za 0,5 ciklusa. Razlog tome je da niti RMS ni algoritam filtra za 0,5 ciklusa ne može ukloniti parne harmonike. Budući da struja uključanja obiluje 2. i 4. harmonikom, karakteristična krivulja releja bit će znatno pomaknuta. Razlike među odziva ostalih 3 filtra su mnogo manji jer svi imaju mogućnost odbacivanja parnim harmonika.



Slika 6.16. *Utjecaj prijelazne struje 3 na performanse releja [8]*

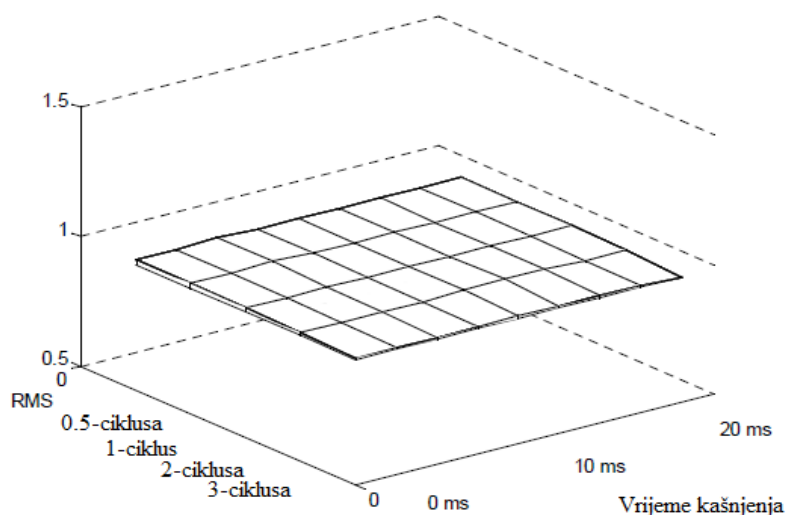
6.2.4. Porast struje

Ovaj slučaj prikazuje valni oblik struje tijekom pada napona. U ovom slučaju struja se povećavaju tijekom pada. Analogno naponskom porastu, ovaj događaj bit će nazvan strujni porast.



Slika 6.17. Porast struje (Švedska) [8]

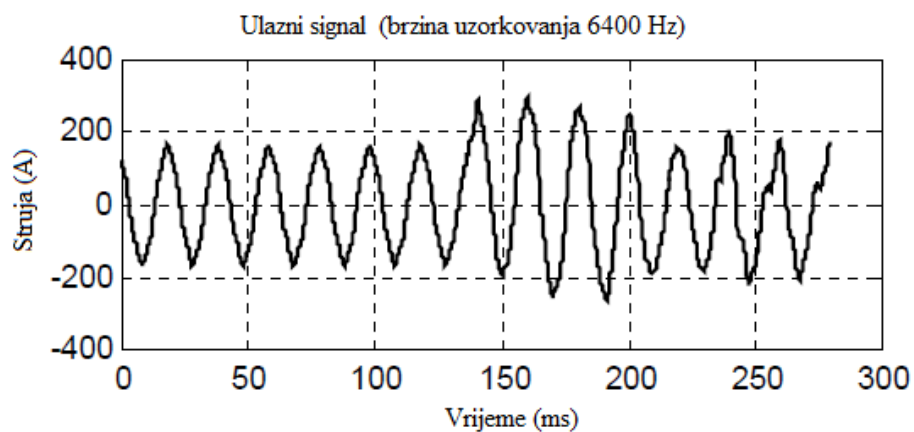
Rezultat na Slici 6.18. pokazuje da ulazni signal ne uzrokuje nikakve razlike među odzivima različitih relejnih filtara kao i RMS algoritma.



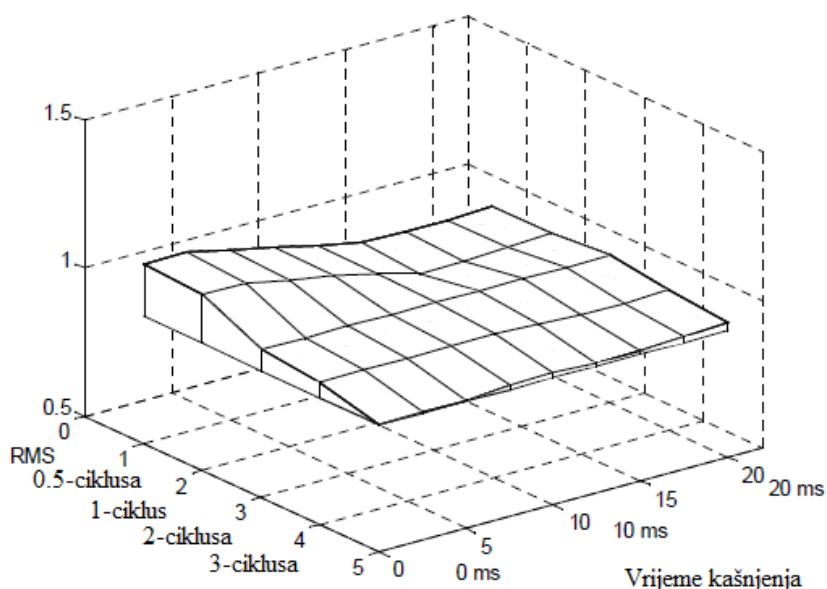
Slika 6.18. Utjecaj porasta struje na performanse releja [8]

6.2.5. Propad sa velikim zasićenjem transformatora

Slika 6.19. prikazuje valni oblik struje tijekom propada napona s velikim zasićenjem transformatora nakon propada. Primijećeno je da valni oblik struje pokazuje očito izobličenje zbog ove zasićenosti. Njegov utjecaj na zaštitu je prikazan na slici 6.20. U usporedbi s prethodnim slučajem, utjecaj toga poremećaj je teži.



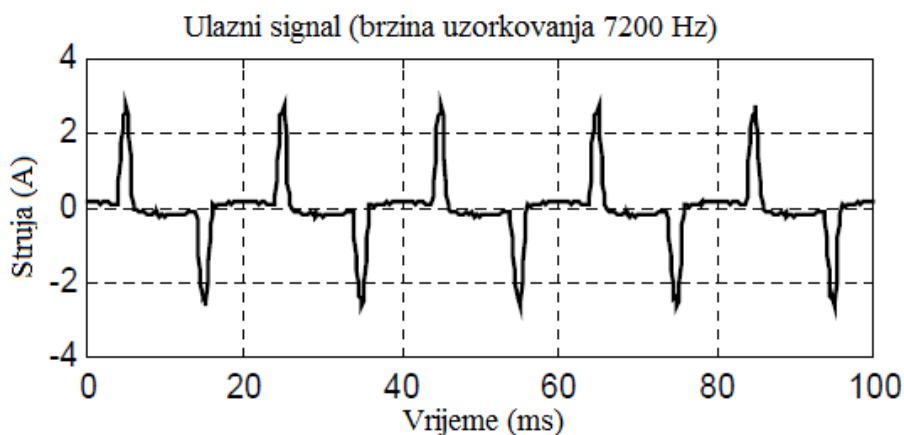
Slika 6.19. Struja zasićenog transformatora tijekom propada napona (Švedska)[8]



6.20. Utjecaj propada tijekom zasićenja transformatora na zaštitu [8]

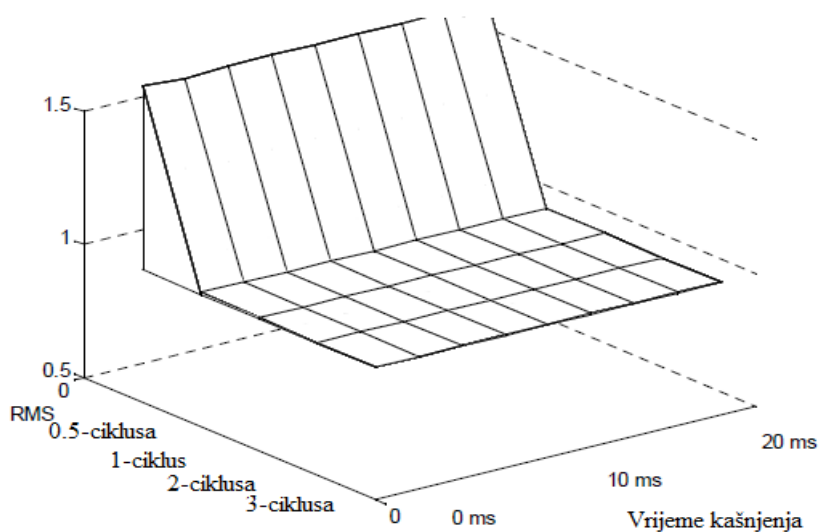
6.2.6. Neparni harmonici

Slika 6.21. pokazuje standardni valni oblik struje mnogih elektroničkih uređaja. Struja je bogata 3., 5. i 7. harmonikom, ali malim brojem parnih harmonika.



Slika 6.21. *Neparni harmonici (Švedska)[8]*

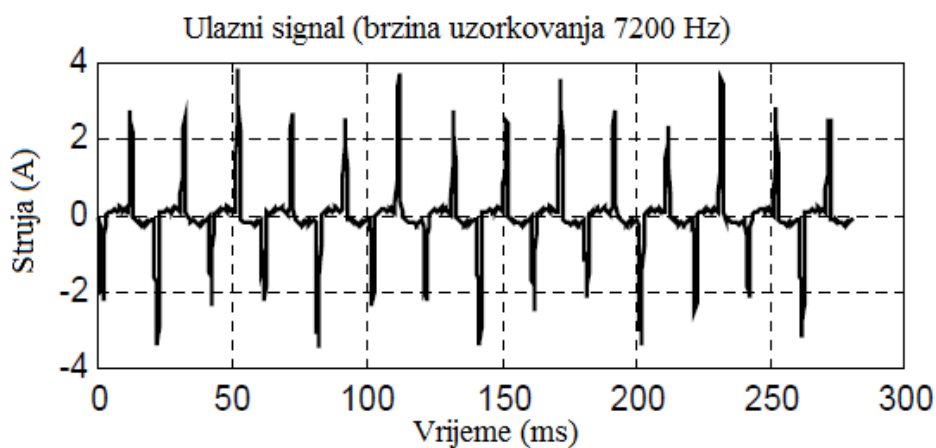
Slika 6.22. pokazuje da takav ulazni signal ne bi trebao imati nikakav učinak na bilo koji relejni filter ali značajno utječe na RMS algoritam. Svaki relej opremljen filterom u teoriji bi trebao filtrirati harmonike i relej bi trebao raditi dobro. Stvarni utjecaj bi se trebao ispitati na svakom releju zasebno da bi se dobili točni utjecaji. Teški utjecaj na RMS algoritam, podrazumijeva da bi drugi releji, kao što su termalni, mogli biti pogođeni.



Slika 6.22. *Utjecaj neparnih harmonika na performanse releja [8]*

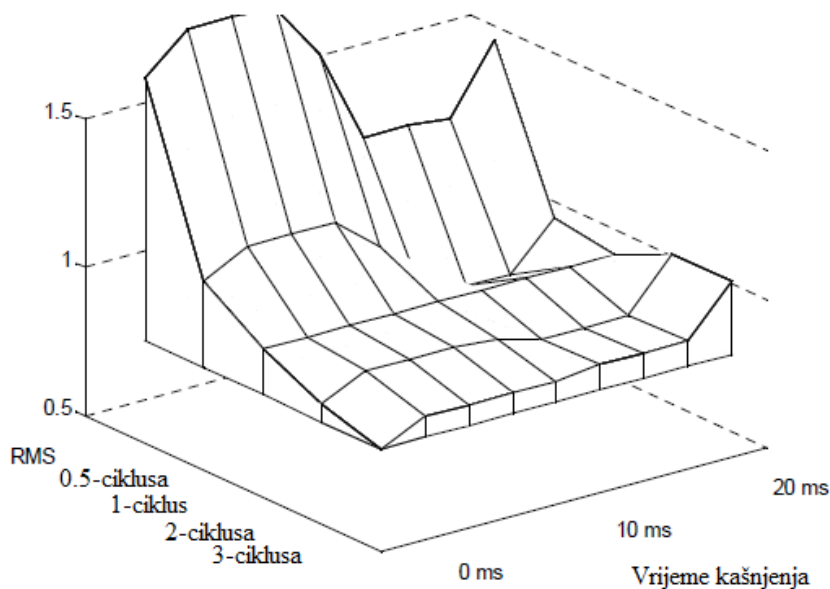
6.2.7 Međuharmonici

Primjer međuharmonika prikazan je na slici 6.23. To je fenomen zapažen u LV sustavu. Povezano je s nekim rutinskim signaliziranjem u sustavu.



Slika 6.23. Međuharmonici (Švedska) [8]

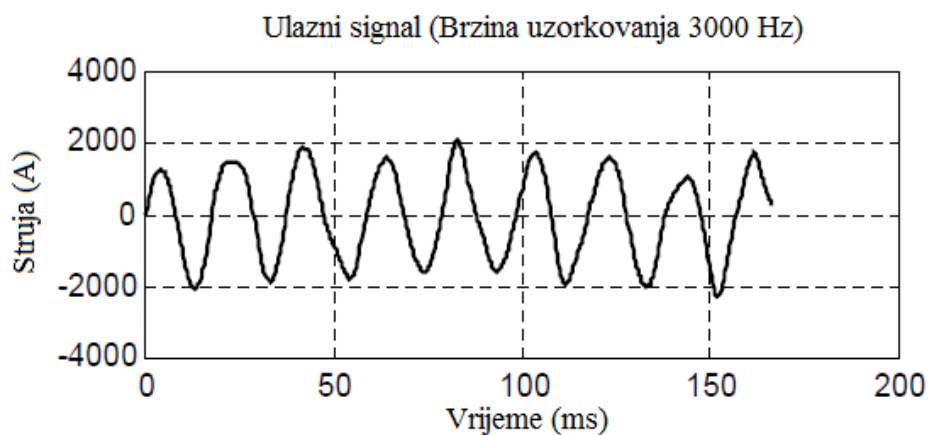
Rezultat na Slici 6.24. pokazuje ozbiljan utjecaj na relejni filter i RMS algoritme. Budući da je signal bogat 1/3 međuharmonicima samo 3-ciklusni filter može ih potpuno odbiti. Odziv filtrom od 0.5 ciklusa uvelike odstupa od onih generiranih drugim filterima.



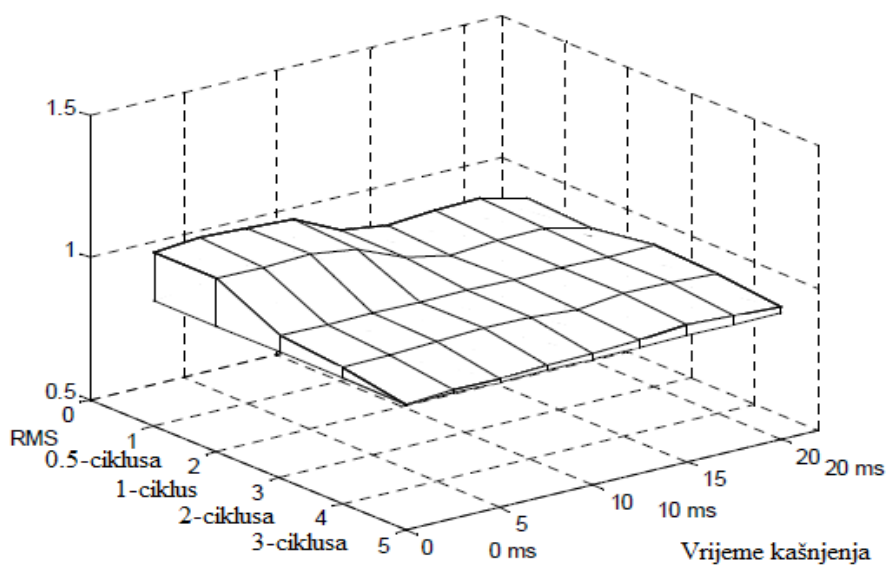
Slika 6.24. Utjecaj međuharmonika na performanse releja [8]

6.2.8. Struja isprekidanog opterećenja

Slika 6.25. prikazuje valni oblik struje lučne peći . Lučna peč je tipično povremeno opterećenje. Njegov utjecaj na zaštitu prikazan je na slici 6.26. Primjetno je da su rezultati dobiveni 1-ciklusnim, 2-ciklusnim i 3-ciklusnim filtrima slični, usporedivo s slučajem 7. To također podrazumijeva da je međuharmonički učinak u ovom slučaju je manje težak nego u slučaju 7.



Slika 6.25. Struja isprekidanog opterećenja [8]



Slika 6.26. Utjecaj struje isprekidanog opterećenja na zaštitu [8]

6.3. Usporedba među slučajevima

Studije slučaja u odjeljku 6.1. usredotočene su na varijacije poremećaja u elektroenergetskom sustavu. Različite varijacije imaju različite utjecaje na postavke releja. Iz rezultata se vidi da bi propad napona mogao teže oštetiti više releja, u usporedbi s drugim poremećajima. Također je problem struja uključenja uslijed prebacivanja. Kratkotrajne prijelazne pojave bilo napona ili struje imaju relativno mali utjecaj na postavke releja. Ovi zaključci povezani su s činjenicom da propadi i navalne smetnje imaju puno dulje trajanje od ostalih. U većini slučajeva vršna vrijednost ne određuje utjecaj na relej već vrijeme trajanja poremećaja.

Pomoću dijagrama utjecaja kao što je prikazano u analizama slučaja, utjecaj poremećaja na postavke releja može se rangirati na temelju faktora poremećaja ilustriranog u dijagramima utjecaja. Kao što bi jedan poremećaj mogao utjecati na više od jedne vrste releja, može se napraviti daljnje rangiranje poremećaja za određenu vrstu releja. Na primjer, svi naponski propadi mogu se rangirati prema njihovom utjecaju na odabir postavki releja. Takve informacije su vrlo korisne kod određivanja postavki releja. U odjeljku 6.2 studije se usredotočuju na to utječu li poremećaji različito na različite filtre releja. Iz rezultata je opaženo da su najteži poremećaji parni harmonici, međuharmonici i duge prijelazne pojave.

Uticaj smetnji na relejne filtre može se ispitati provjerom ravnost i glatkoće površine oblikovane odzivima filtara. Ravna površina znači da signal poremećaja daje slične relejne izlaze na različitim filtrima, dok površina s velikim zakrivljenjem podrazumijeva mnogo neželjenih komponenata ili prijelaza u signalu. Poremećaji mogu biti rangirani na temelju zakrivljenosti površina. Oni s višim rangom mogu biti primijenjeni za testiranje učinkovitosti bilo kojeg postojećeg ili novog algoritma filtra.

6.4. Utjecaj efekata nesinusoidalnih struja na GEC CDG 11 IDMT nadstrujni relej

Istražen je utjecaj efekata nesinusoidalnih struja na dva zaštitna releja elektroenergetskog sustava. To su GEC CDG 11 IDMT nadstrujni relej i GE Multilin 369 Plus upravljački relej motora. Releji tipa CDG 11 je elektromehanički relej s normalno inverznom ovisno vremenskom karakteristikom. Releji daju selektivnu faznu i zemljospojnu nadstrujnu zaštitu u vremenski stupnjevanim sustavima za transformatore, izmjenične strojeve i vodove, itd. Te osiguravaju da se minimalni broj prekidača aktivira kako bi se uklonio neispravan dio. Dok se releji GEC CDG više ne proizvode i danas su u službi, na srednjenaponskim mrežama širom svijeta.

Pretpostavlja se da relej radi na temeljnoj frekvenciji od 50. Veličina i frekvencija korištenih komponenti struja su kako je prikazano u tablici 6.1.

Tablica. 6.1. Veličina i frekvencija struje

Frekvencija	Red Harmonika	Postotak nazivne struje
50 Hz	Osnovni	100%
150 Hz	3.	33.33%
250 Hz	5.	20%
350 Hz	7.	14.3%

Ukupno harmonijsko izobličenje struje računa se:

$$THDI = \frac{\sqrt{I_{rms}^2 - I_1^2}}{I_1} * 100\% \quad (6-1)$$

I_{rms} -efektivna vrijednost ukupnog signala struje

I_1 - efektivna vrijednost struje osnovnog harmonika

Formula IEC za normalno inverznu ovisno vremensku karakteristiku (IDMT) dana je prema [9] za GEC CDG 11 relej kao:

$$t = T * \left(\frac{K}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \right) + L \quad (6-2)$$

Gdje je : t-vrijeme isključenja,

T-vremenski multiplikator

K, L, α – konstante

I-vrijednost struje kvara

Is- struja prorade

Prethodna formula je korištena za određivanje očekivanih vremena prorade za relej CDG 11. Izračunata vremena prorade prikazana su u tablici 6.2. u trećem stupcu. Brzina rada pod prisustvom nesinusoidalnih struja izračunata je kako bi se utvrdilo je li relej radio brže ili sporije od tražene margine rada.

Ekvivalentna efektivna vrijednost struje za krug koji sadrži treću petu i sedmu harmonijsku struju pri većim raspoloživim veličinama i nultom faznom pomaku sada se može vidjeti:

$$I = \sqrt{(I_1^2 + I_2^2 + \dots I_n^2)} \quad (6-2)$$

Gdje je:

$$I_1 = \frac{I_{1max}}{\sqrt{2}} \quad (6-3)$$

Za osnovnu struju od 1A i 50 Hz i dodatkom harmonijske struje koja je navedena u tablici , ekvivalentna efektivna vrijednost struje postaje.

$$I = \sqrt{(1^2 + 0.333^2 + 0.2^2 + 0.143^2)}$$

$$I = 1.0823 \text{ A}$$

To pokazuje da je 1.0823A ekvivalentna vrijednost efektivne struje za kompleksni val s nultom faznim pomakom koji se sastoji od

1 A @ 50 Hz

0,333A @ 150Hz

0.2A @ 250Hz

0.143A @ 350Hz

Računa se ukupno harmonijsko izobličenje:

$$THDI = \frac{\sqrt{1.0823^2 - 1^2}}{1} * 100\%$$

$$THDI = 41.4 \%$$

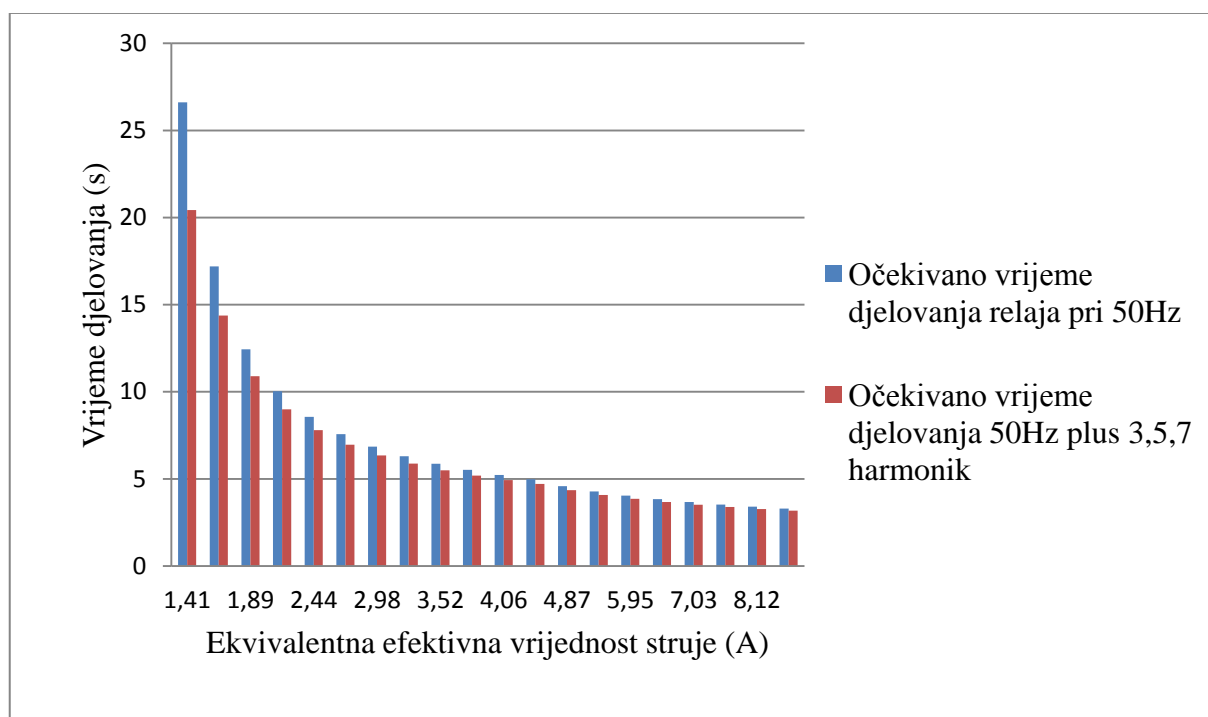
Usporedba svih podataka dobivenih iz elektromehaničkog releja, podvrgavajući ga ne-sinusoidnim strujama, sada je napravljena uz rezultate prikaze u Tablici 6.2 . To je omogućilo da se usporede svaka odstupanja između vremena prorade releja pri normalnim sinusoidalnim uvjetima i vremena prorade pri nesinusoidalnim uvjetima , za isti GEC zaštitni relej. Proračun se vrši prema različitim razinama opterećenja od 1.05 puta punog opterećenja do 8 puta punog opterećenja prema tablici iz kataloga proizvođača.

Tablica 6.2. *Izračunata očekivana vremena djelovanja releja pri 50 Hz i 50 Hz plus 3, 5, , 7. harmonik*

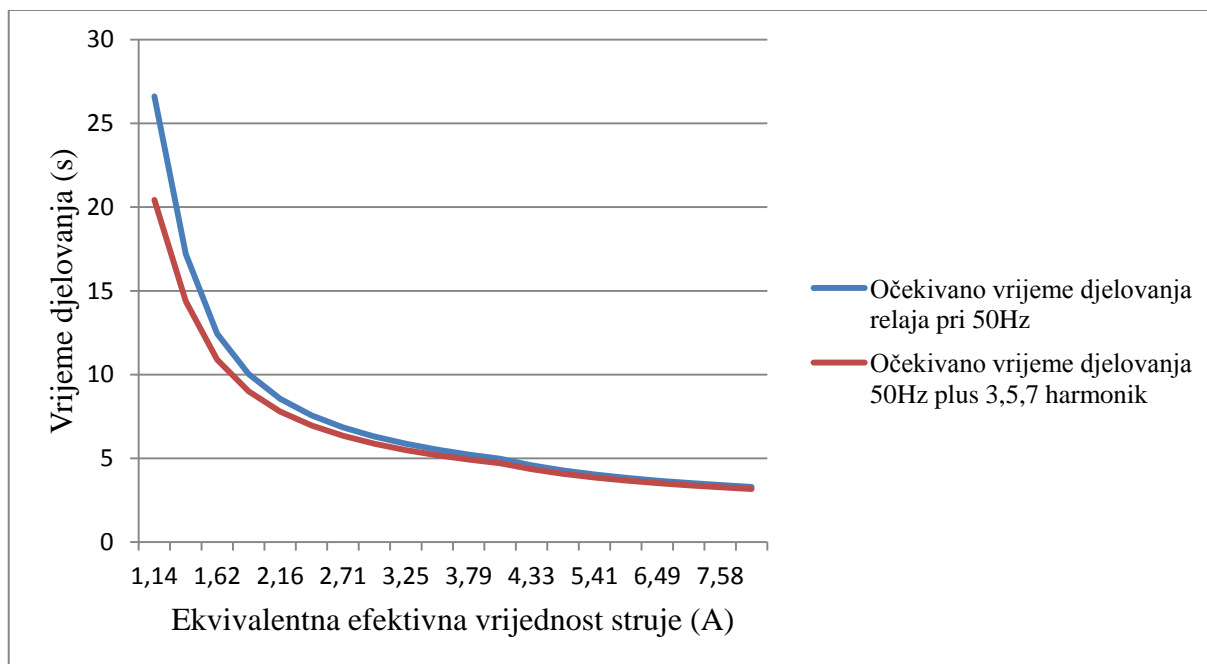
Injektirana struja 50 Hz (A)	Izračunata ekvivalentna efektivna vrijednost struje (A)	Očekivano vrijeme djelovanja releja pri 50Hz (s)	Očekivano vrijeme djelovanja 50Hz plus 3,5,7 harmonik (s)	% Brže
1,05	1,136	143,402	54,669	-62%
1,3	1,407	26,611	20,431	-23%
1,5	1,623	17,194	14,376	-16%
1,75	1,894	12,439	10,890	-12%
2	2,165	10,029	8,995	-10%
2,25	2,435	8,562	7,795	-9%
2,5	2,706	7,570	6,963	-8%
2,75	2,976	6,850	6,348	-7%
3	3,247	6,302	5,874	-7%
3,25	3,517	5,869	5,496	-6%
3,5	3,788	5,518	5,186	-6%
3,75	4,059	5,226	4,927	-6%
4	4,329	4,980	4,707	-5%
4,5	4,870	4,584	4,352	-5%
5	5,412	4,280	4,076	-5%
5,5	5,953	4,037	3,855	-5%
6	6,494	3,837	3,672	-4%
6,5	7,035	3,670	3,519	-4%
7	7,576	3,528	3,387	-4%
7,5	8,117	3,405	3,273	-4%
8	8,658	3,297	3,173	-4%

Tablica 6.2.jasno pokazuje da se radna brzina releja povećava kako se smanjuje razina struje preopterećenja. To dokazuje da će za niske razine preopterećenja relej raditi puno brže pod utjecajem nesinusoidalnih struja nego što bi se inače očekivalo.

Izračunata vremena prorade za GEC CDG 11 relej sada se uspoređuju. Stupac jedan u tablici 4 prikazuje stvarnu temeljni struju od 50 Hz ubrizgavanu u relej. Stupac 2 prikazuje izračunatu ekvivalentnu efektivnu vrijednost struje uz dodatak treće, pete i sedme harmonijske struje kao što je gore opisano. Stupci 3 i 4 ove tablice pokazuju izračunato vrijeme potrebno za prorade pod tim harmonijskim uvjetima.



Slika 6.27. Grafički prikaz dobivenih rezultata



Slika 6.28. Usporedba vremenskih krivulja

Prikazana je promjena brzine rada u skladu s ekvivalentnom efektivnom vrijednošću struje. Međutim u praksi je moguće da promjena brzine ne bude u skladu s jednostavnom ekvivalentnom vrijednošću struje. To će ovisiti od releja do releja. Vrijeme prorade elektromehaničkih releja, zasnovane na inverznim ovisno vremenskim karakteristikama ovise o harmonijskoj amplitudi i redu. Pretpostavlja se da vrijednosti THDI manje od 10% imaju malo ili nimalo utjecaja na performanse releja; to se može pripisati minimalnom magnetskom toku dodan indukcijskom disku. THDI vrijednosti veće od 20% imati će vidljiv utjecaj zbog generiranja nelinearnog magnetskog toka. U ovom slučaju gdje je THDI veće od 40% vidi se značajan utjecaj brzine promjene releja posebno pri manjim razinama preopterećenja.

Takav iznos THDI-a bitno će se utjecati na performanse nadstrujnog releja. Kada se pojavi greška u sustavu, nadstrujni relej neće moći izolirati neispravnu lokaciju jer će se aktivirati na neželjeni način. Smanjenje THD-a na razinu ispod 20% bi trebalo ublažiti ovaj problem i mogao bi se zadržati pravilan rad releja. To se može regulirati upotrebom pasivnih harmonijskih filtara ali oni nisu isplativo rješenje problema. Jedno od rješenja problema je korištenje aktivnih filtarskih pristupa koji mogu učinkovito eliminirati sve harmonijske redove. Međutim, aktivni filtri imaju vrlo složenu konfiguraciju i zahtijevaju složenu tehniku upravljanja.

6.5. Utjecaj efekata nesinusoidalnih struja na GE Multilin 369 Plus upravljački relej motora

Drugi relej analiziran u ovom radu bio je GE Multilin 369 Plus upravljački relej motora. Ovaj uređaj je digitalni relej koji je danas, kao i ranije spomenuti relej CDG, u širokoj uporabi diljem svijeta. To je digitalni relej koji pruža zaštitu i praćenje trofaznih motora i pripadajućih mehaničkih sustava.

Ova vremena prorade prikazana u sljedećoj tablici nisu stvarna vremena prorade, nego procijenjena vremena prorade koja se dobivaju od samog zaštitnog releja. U ovoj analizi dodana je harmonijska struja trećeg, petog i sedmog reda u osnovnu struju. Vrijeme koje je potrebno da relej proradi pod ovim nesinusoidalnim uvjetima prikazan je u tablici 6.3.

Provjeren je Multilin 369 Plus kako bi utvrdili kako će ovaj relej raditi u odnosu na ekvivalentnu efektivnu vrijednost struje uz dodane harmonike u krugu. Brzina rada za množitelj standardne krivulje od pet korištena u ovoj seriji testova s GE Multilin relejom dana je formulom (6-4) prema [10].

$$t = \frac{5 * 2.2116623}{(0.02530337 * (FLC - 1)^2) + (0.05054758 * (FLC - 1))} \quad (6-4)$$

Gdje je:

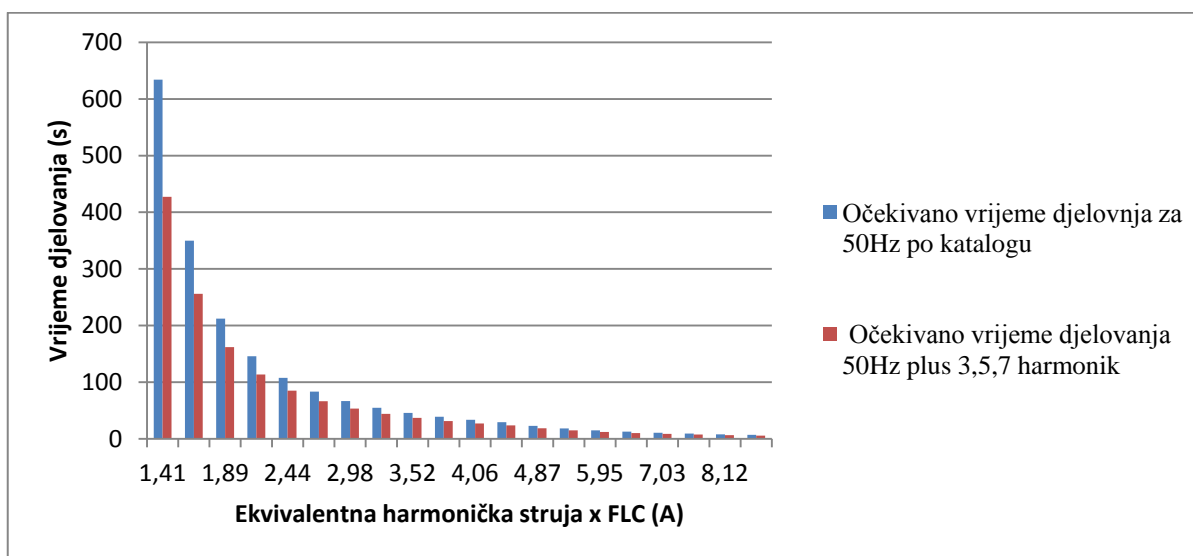
FLC- nazivna struja kod nazivnog momenta

Iz gore navedene formule i ekvivalentne efektivne vrijednosti struje, kao što je prethodno izračunato, vremena prorade izračunata su kako je prikazano u Tablici 6.3. dolje. Proračun se vrši prema različitim razinama opterećenja od 1.05 puta punog opterećenja do 8 puta punog opterećenja prema tablici iz kataloga proizvođača.

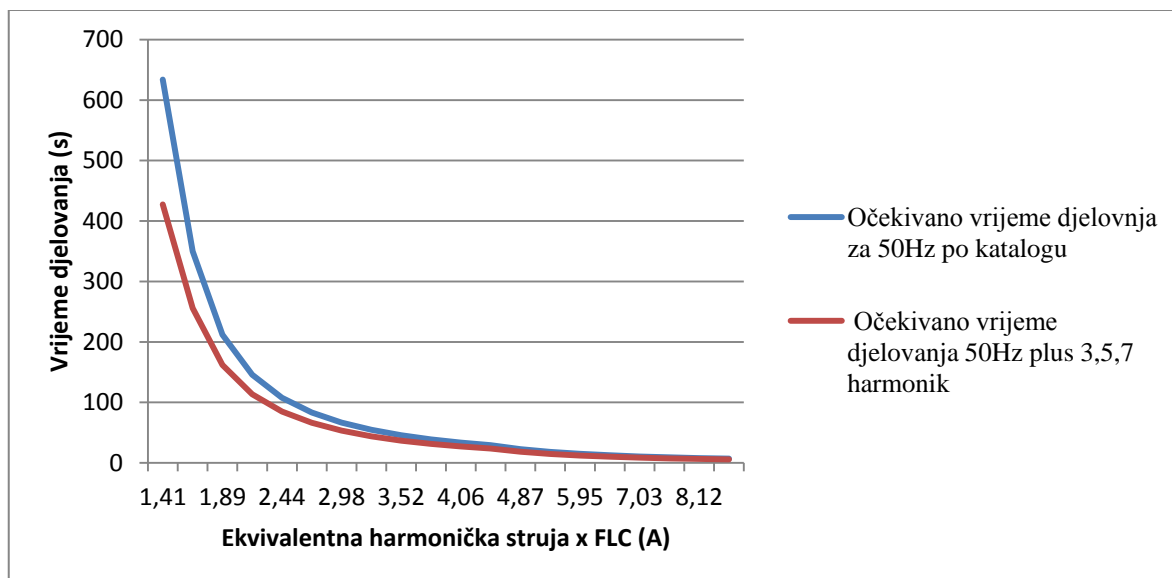
U proračunima utjecaja harmonika na ovaj relej pretpostavilo se da će on reagirati strogo prema ekvivalentnoj efektivnoj vrijednosti struje. Što u praksi možda nije slučaj. Ovisno o načinu filtriranja razlike u brzini mogu biti blaže.

Tablica 6.3. Očekivana vremena djelovanja pri 50 Hz i 50 Hz plus 3, 5, 7 harmonik

Injektirana struja*FLC (A)	Ekvivalentna harmonijska struja *FLC (A)	Očekivano vrijeme djelovanja za 50Hz po katalogu (s)	Očekivano vrijeme djelovanja 50Hz plus 3,5,7 harmonik (s)	% Brže
1,05	1,14	4268,6	1436,69	-66
1,3	1,41	634,02	427,37	-33
1,5	1,62	349,95	255,95	-27
1,75	1,89	212,07	161,78	-24
2	2,16	145,79	113,57	-22
2,25	2,44	107,65	84,89	-21
2,5	2,71	83,3	66,21	-21
2,75	2,98	66,64	53,25	-20
3	3,25	54,66	43,85	-20
3,25	3,52	45,73	36,80	-20
3,5	3,79	38,87	31,35	-19
3,75	4,06	33,47	27,04	-19
4	4,33	29,15	23,58	-19
4,5	4,87	22,71	18,42	-19
5	5,41	18,22	14,79	-19
5,5	5,95	14,95	12,15	-19
6	6,49	12,49	10,16	-19
6,5	7,03	10,6	8,63	-19
7	7,58	9,11	7,42	-19
7,5	8,12	7,91	6,45	-18
8	8,66	6,94	5,66	-19



Slika 6.29. Grafički prikaz dobivenih rezultata



Slika 6.30. Usporedba vremenskih krivulja

Veličina harmonijskih struja korištena u ovoj seriji ispitivanja jednaka je vrijednostima prethodno korištenim prilikom provođenja sličnih ispitivanja na elektromehaničkom releju. Tablica 6.3. jasno pokazuje kako je vrijeme prorade za Multilin 369 Plus zaštitni relej motora dramatično pogodoeno. Na 1.05 puta punog opterećenja se vidi da djeluje 60% brže nego što bi to učinio bez prisutnosti harmonijskih struja u krugu. Kod vrijednosti preopterećenja između 1.3 puta punog opterećenja i osam puta od punog opterećenja vidi se da relej još uvijek radi mnogo brže nego što bi to inače učinio bez prisutnosti ovih harmonijskih struja. Tijekom ovog opsega preopterećenja relej vidi se da djeluje oko 20% brže.

Krivulja prorade za Multilin 369 Plus sa strujom frekvencije 50Hz plus treći, peti i sedmi harmonik vidi se da slijedi različitu krivulju od standardne.

Ova promjena brzine rada zbog prisutnosti nesinusoidalne struje mogla bi dovesti do problema diskriminacije unutar mreže. Problem koordinacije zaštitne opreme u elektroenergetskom sustavu bilo bi najočitije kod niskog preopterećenja. Istraživanje provedeno u ovom radu pokazalo je da su drugi pogledali različite aspekte ovog problema i da su svi zaključili da različiti releji reagiraju na različite načine na ne-sinusoidne uvjete. To čini nemogućim doći do jednog jednostavnog rješenja o načinu na koji bi se trebalo vršiti ocjenjivanje kada su harmonici prisutni u energetsom sustavu. Međutim, rad je utvrdio da se harmonici ne mogu jednostavno zanemariti te da bi mogli dovesti do netočnog djelovanja unutar sustava što dovodi do nepotrebnog gubitka neke ili dijela te mreže.

7. ZAKLJUČAK

Kvaliteta električne energije je važno pitanje pri isporuci električne energije i zbog toga svaki operator sustava vodi računa o njoj. Posljedice loše kvalitete električne energije mogu biti teške i utjecati na zaštitu sustava koja je potrebna za siguran i pouzdan rad. Utjecaj kvalitete električne energije na zaštitne releje je takav da dobra kvaliteta energije nema utjecaja, tj. zaštitni releji će ispravno obavljati svoje funkcije. Međutim, kada je kvaliteta električne energije loša, pouzdanost zaštitnih releja za obavljanje namjenske funkcije se degradira. Kada je kvaliteta energije loša, parametri na koje se zaštitni releji oslanjaju za otkrivanje smetnji mogu postati iskrivljeni do te mjere da donošenje pouzdanih odluka postaje problematično. Te se više ne može osloniti na performanse releja pod tim uvjetima sustava.

U radu je pokazana problematika utjecaja pojedinih vrsta poremećaja kako na različite vrste releja tako i na filtre i algoritme koji oni koriste. Teorijske i proračunske analize ovog rada pokazale su da iskrivljenje valnog oblika utječe na performanse zaštitnih releja i može uzrokovati nepravilno funkcioniranje. U većini slučajeva, izobličenje valnog oblika struje opterećenja ima mali utjecaj na struju kvara. Međutim, za preopterećene uvjete struja može sadržavati značajne harmonike i izobličenje te može postati značajan faktor. U radu su proračunati odzivi elektromehaničkog i digitalnog releja pri nesinusoidalnim uvjetima gdje na njih utječe ekvivalentna efektivna vrijednost struje s dodanim harmonicima. Pokazalo se da oba tipa zaštitnih uređaja pružaju promjenu brzine rada u nesinusoidalnim uvjetima. Ova promjena brzine rada zbog prisutnosti ne-sinusne struje može dovesti do problema diskriminacije unutar elektroenergetske mreže.

Nemoguće je doći do jednog jednostavnog rješenja o tome kako bi se klasifikacija trebala provoditi kada su harmonici prisutni u sustavu. Međutim, harmonici se ne mogu jednostavno ignorirati, jer bi to moglo dovesti do netočnog ocjenjivanja situacije unutar sustava što bi dovelo do nepotrebnog gubitka neke ili dijela te mreže. Konačno, vjerojatno je nemoguće generalizirati ponašanje bilo kojeg relejnog odziva na harmonike bez stvarnih ispitivanja, budući da stvarni rezultati ispitivanja pokazuju veća odstupanja od teoretskog izračuna. Potrebno je stvarno ispitivanje zaštitnih releja u uvjetima loše kvalitete električne energije kako bi se osiguralo dovoljno informacija o performansama i omogućila sigurna primjena zaštitnih releja u takvim uvjetima.

LITERATURA

- [1] D. Marić, I. Slišković, S. Mandrapa, A. Štironja, regulacija napona u distribucijskoj mreži izmjenjivačima fotonaponskih elektrana *Savjetovanje HO CIGRE*, Osijek, Hrvatska, 15. – 18. Svibnja 2016.
- [2] I. Ivšinović, Kvaliteta električne energije. Diplomski rad, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, fakultet elektrotehnike i računarstva, 2003.
- [3] Srete Nikolovski, Zaštita u elektroenergetskom sustavu, Grafika, Osijek, 2007.
- [4] IEEE WG C-2. “Protective relaying and power quality”, Draft 4, June 2003.
- [5] D. S. Baker et al., “Application Considerations of Static Overcurrent Relays: A Working Group Report”, IEEE Trans. On Industry Applications, Vol. 33, No. 6, pp. 1493-1500, Nov./Dec. 1997
- [6] I. Zamora¹, A.J. Mazón², V. Valverde, E. Torres, A. Dyško , Power Quality and Digital Protection Relays, University of the Basque Country, Spain, 2004
- [7] Fan Wang, “Power Quality Disturbances and Protective Relays” (PhD). Chalmers University of Technology, Sweden. March 2001
- [8] Fan Wang, On Power Quality and Protection, Chalmers University of Technology, Sweden. 2001
- [9] s. McFadyen, Electromechanical relays, April 2012,
URL: <https://myelectrical.com/notes/entryid/159/electromechanical-relays>
- [10] GE Multilin 369 Motor Management Relay QuickStart Guide for revision 3.2x, GE Multilin Incorporated, 2008

SAŽETAK

Svrha ovog diplomskog rada bilo je analizirati potencijalni utjecaj određenih parametara kvalitete električne energije na uređaje zaštite u 10 kV distribucijskoj mreži. Navedeni su osnovni parametri norme EN 50160, te osnovne zadaće i tipovi relejne zaštite. Zatim se definiraju utjecaji određenog tipa poremećaja na instaliranu relejnu zaštitu te utjecaj smetnji na rad releja. Vršiti se detaljnija kvantifikacija poremećaja u elektroenergetskom sustavu i njihov utjecaj na zone postavljanja releja. Nakon toga rade se studije slučaja te teorijske i grafičke analize utjecaja pojedinih događaja na relej. Prikazuju se odzivi različitih vrsta filtara releja na različite događaje u mreži. U zadnjem poglavlju radi se računska analiza utjecaja efekata nesinusoidalnih struja na elektromehanički nadstrujni relej i digitalni upravljački relej motora.

Ključne riječi: kvaliteta električne energije, norma EN 50160, relejna zaštita, harmonijsko izobličenje, kvantifikacija poremećaja

ABSTRACT

The purpose of this Master's thesis was to analyze the potential impact of certain parameters of power quality on the protection devices in the 10 kV distribution network. The basic parameters of EN 50160 are listed, as well as basic tasks and types of relay protection. Then the impact of a certain type of disturbance on the installed relay protection and the impact of interference on the relay operation are defined. A more detailed quantification of disturbances in the power system and their impact on the relay setting zones is performed. After this, case studies are performed, as well as theoretical and graphical analysis of the influence of certain events on the relay. Responses of different types of relay filters to different events in the network are displayed. In the last chapter, a calculation analysis of the effect of non-sinusoidal current effects on the electromechanical overcurrent relay and the digital motor management relay is performed.

Key words: power quality, EN 50160, relay protection, harmonic distortion, quantification of disturbances

ŽIVOTOPIS

Andrija Lukes rođen je 18.studenog.1993 godine u Žepču u Bosni i Hercegovini. U Žepču 2008. godine završava osnovnu školu nakon čega upisuje Tehničko-obrtničku školu, smjer elektrotehničar, pri Katoličkom školskom centru „Don Bosco“ u Žepču. Srednju školu završava 2012. godine. Nakon toga upisuje stručni studij na Elektrotehničkom fakultetu Osijek u Osijeku, smjer elektroenergetika, koji završava 2015. godine. Iste godine upisuje Razlikovne obaveze koje završava 2016. godine. Nakon toga upisuje diplomski studij smjer Elektroenergetski sustavi na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku.